

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОУ ВПО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Кафедра физической, органической химии и нанодисперсных технологий

В.Т. Брунов  
В.В. Свиридов

# **ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ПО ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ (ЧАСТЬ 2)**

Методические указания  
для самостоятельной работы студентов  
по физической химии инженерно-экологического факультета  
специальностей 240100 «Химическая технология и биотехнология»,  
240502 «Технология переработки пластических масс и эластомеров»,  
280202 «Инженерная защита окружающей среды»,  
261201 «Технология и дизайн упаковочного производства»

Екатеринбург  
2010

Печатается по рекомендации методической комиссии ИЭФ.  
Протокол № 1 от 30 сентября 2009 г.

Рецензент – д-р хим. наук Б.Н. Дрикер

Редактор К.В. Корнева  
Оператор Г.И. Романова

---

Подписано в печать 24.05.10		Поз. 55
Плоская печать	Формат 60x84 1/16	Тираж 100 экз.
Заказ №	Печ. л. 2,56	Цена 13 руб. 24 коп.

---

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ  
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

## ВВЕДЕНИЕ

Физическая химия – наука о закономерностях химических процессов и физических явлений. Она изучает химические процессы в неразрывной связи с сопровождающими их физическими явлениями. Физическая химия служит теоретической основой повседневной практической деятельности современного химика. Инженер-химик и химик-технолог должны не только знать физико-химические законы, но и уметь применять их для решения конкретных задач.

Решение задач помогает студенту усвоить и глубже понять теоретические положения курса. Сформировать физико-химическое мышление, привить навыки решения конкретных физико-химических задач, научить доводить решение до конечного числового результата, привить ответственность за результат расчёта – это важнейшее и весьма трудное в преподавании физической химии. Успех в этом не может быть достигнут без систематической самостоятельной работы студентов.

Прослушав лекции, изучив соответствующий раздел учебника, студент должен показать на практике, как им усвоен теоретический материал по соответствующему разделу, выполнив самостоятельно свой вариант по этому разделу. Каждый вариант включает 2-3 теоретических вопроса и 2-3 задачи.

Для облегчения решения задач в конце методических указаний приводится приложение, в котором имеются справочные материалы, требующиеся студенту при решении конкретных задач соответствующих разделов.

В данных методических указаниях приводятся теоретические вопросы и задачи по следующим разделам: «Молекулярные спектры», «Рефракция и дипольный момент молекул», «Парахор», «Термохимия», «Химическое равновесие» и «Молекулярные растворы».

# ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ

## Вариант 1

1. Объяснить, почему происходит смещение положения равновесия в химической реакции при изменении температуры или давления.
2. При  $830^{\circ}\text{C}$  и  $1013 \text{ гПа}$  степень диссоциации  $\text{CO}_2$  на окись углерода и кислород равна  $1,04 \cdot 10^{-3}$ . Определить энергию Гиббса реакции. Рассчитать степень диссоциации  $\text{CO}_2$  под давлением  $2578 \text{ гПа}$ .
3. Определить равновесные концентрации водорода и йода в реакции  $\text{H}_2 + \text{I}_2 \leftrightarrow 2 \text{HI}$ , если известно, что их начальные концентрации составляют по  $0,02 \text{ моль/л}$ , а равновесная концентрация  $\text{HI}$  равна  $0,03 \text{ моль/л}$ . Выразить равновесный состав смеси в процентах.
4. Для реакции диссоциации  $2\text{HI} \leftrightarrow \text{H}_2 + \text{I}_2$  при  $300^{\circ}\text{C}$   $K_p = 1,25 \cdot 10^{-2}$ , а при  $320^{\circ}\text{C}$   $K_p = 1,3 \cdot 10^{-2}$ . Найти теплоту диссоциации в этом интервале температур, считая ее постоянной величиной.
5. Для реакции разложения 1 моль водяного пара при  $1500^{\circ}\text{C}$  и  $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$  степень диссоциации равна  $4,8 \cdot 10^{-4}$ . Определить, в каком направлении пойдет процесс при следующих исходных парциальных давлениях компонентов, Па:

№ варианта	Водяной пар	Водород	Кислород
1	$1,013 \cdot 10^5$	$1,013 \cdot 10^5$	$1,013 \cdot 10^5$
2	$1,013 \cdot 10^4$	$2,025 \cdot 10^2$	$1,28 \cdot 10^{-3}$
3	$1,013 \cdot 10^4$	$1,013 \cdot 10$	$1,28 \cdot 10^{-3}$

## Вариант 2

1. В химической реакции изменяется концентрация реагирующих веществ. Какое влияние это воздействие окажет на величину константы скорости реакции и положение равновесия, на выход продуктов реакции?
2. Железо и водяной пар реагируют по уравнению  $\text{Fe} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{FeO} + \text{H}_2$ . При  $1000 \text{ К}$  и давлении  $10,133 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$  парциальное давление водорода равно  $6,526 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ . Найти значение энергии Гиббса реакции.
3. При  $530 \text{ К}$  и давлении  $1,0133 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$  степень диссоциации этилового спирта на этилен и воду равна  $75\%$ . Определите значение  $K_c$  и  $K_p$ .
4. Константа равновесия реакции при  $800 \text{ К}$  равна  $137,217$ . Определить температуру, при которой константа равновесия равна  $50$ , если тепловой эффект реакции равен  $-38 \text{ ккал/моль}$ . Определить нормальное сродство реакции при  $800 \text{ К}$ .
5. Для реакции  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$  при  $1500 \text{ К}$   $K_p = 0,31$ . Определить, в каком направлении пойдет процесс при следующих вариантах исходных парциальных давлениях компонентов, Па:

№ варианта	CO	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>
1	$2,026 \cdot 10^5$	$6,078 \cdot 10^5$	$4,052 \cdot 10^5$	$3,039 \cdot 10^5$
2	$19,25 \cdot 10^5$	$2,43 \cdot 10^5$	$4,052 \cdot 10^5$	$3,039 \cdot 10^5$
3	$20,20 \cdot 10^5$	$5,065 \cdot 10^5$	$6,078 \cdot 10^5$	$2,026 \cdot 10^5$

### Вариант 3

1. Назвать способы выражения закона действующих масс, связь  $K_p$  и  $K_c$ . Какие термодинамические потенциалы можно определить, зная значения  $K_p$  и  $K_c$ ?
2. Имеется химическая реакция  $A + 2B \leftrightarrow C + D + \Delta H$ , где A, B, C – идеальные газы. Как увеличить выход продукта D в конденсированном состоянии?
3. Определить в процентах состав смеси в момент равновесия для реакции  $FeO + CO \leftrightarrow Fe + CO_2$ , если при  $T = 1273$  К константа равновесия этой реакции  $K_p = 0,4$ . Определить также  $K_c$  реакции.
4. Для реакции  $SO_2 + 0,5O_2 \leftrightarrow SO_3$  при 900 К  $K_p = 0,55$ , а при 1000 К  $K_p = 1,86$ . Определить тепловой эффект в этом температурном интервале, считая, что он не зависит от температуры. Вычислить  $K_c$  при 900 К.
5. Зависимость константы равновесия реакции, приведенной в предыдущем пункте, от температуры выражается уравнением

$$\ln K_p = -9650 / T + 1,8 \ln T + 8,2.$$

Определить тепловой эффект, внутреннюю энергию, энтропию и энергию Гельмгольца этой реакции при 455 К.

### Вариант 4

1. Уравнения изобары и изохоры химической реакции. Приближенное и уточненное интегрирование этих уравнений.
2. Как изменится выход продуктов реакции  $N_2 + 3H_2 \leftrightarrow 2NH_3$  при уменьшении давления? Сместится ли положение равновесия при этом воздействии и изменится ли константа равновесия реакции?
3. Константа равновесия реакции  $CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2$  равна 1. Вычислить процентный состав смеси в состоянии равновесия, если начальные концентрации CO и  $H_2O$  равны по 1 моль/л.
4. Константа равновесия реакции  $2H \leftrightarrow H_2$  при 900 К  $K_p = 19,86$ , а при 850 К  $K_p = 20,82$ . Определить тепловой эффект реакции в этом интервале температур, считая, что он не зависит от температуры.
5. При 1000 К и  $1,013 \cdot 10^5$  Па для термической диссоциации  $Cl_2$  степень диссоциации равна  $3,5 \cdot 10^{-4}$ . Определить, в каком направлении пойдет процесс при следующих значениях исходных парциальных давлений компонентов, Па.

№ варианта	Молекулярный хлор	Атомарный хлор
1	$4,052 \cdot 10^5$	$2,026 \cdot 10^5$
2	$7,091 \cdot 10^5$	$2,775 \cdot 10^2$
3	$7,091 \cdot 10^5$	$2,127 \cdot 10^2$

## Вариант 5

1. Принцип подвижных равновесий ле Шателье. Как, исходя из этого принципа, предвидеть влияние температуры на константу равновесия? Привести примеры.
2. Почему получение одинакового числа мл гипосульфита, пошедшего на титрование в двух или трех последовательно взятых пробах при выполнении данной лабораторной работы, указывает на достижение равновесия изучаемой реакции?
3. Сколько молей HI образуется при реакции  $\text{H}_2 + \text{I}_2 \leftrightarrow 2\text{HI}$  из 1 моль  $\text{I}_2$  и 2 моль  $\text{H}_2$ , если константа равновесия реакции  $K_c = 50$ . Каков процентный состав равновесной смеси?
4. Для реакции  $\text{SO}_2 + 0,5\text{O}_2 \leftrightarrow \text{SO}_3$  тепловой эффект составляет -22 518 ккал/моль. При 1001 К константа равновесия реакции  $K_c = 1,86 \cdot 10^5$ . Определить константу равновесия этой реакции при 899 К, считая, что в этом интервале температур тепловой эффект постоянен.
5. В реакции участвуют по 1 моль азота и кислорода. При 630 К установилось равновесие, при котором образовалось 0,5 моль окиси азота. Будет ли происходить самопроизвольное образование окиси азота, если в реакционной смеси содержится: азота – 0,5 моль; кислорода – 0,75 моль; окиси азота – 0,2 моль при этой же температуре?

## Вариант 6

1. От каких факторов зависит константа равновесия гомогенных и гетерогенных химических реакций? Пояснить примерами.
2. Как влияет повышение температуры на константу равновесия  $K_p$ ? Приведите математическую запись этой зависимости и объясните ее.
3. Константа равновесия  $K_p$  реакции  $\text{N}_2\text{O}_4 \leftrightarrow 2\text{NO}_2$  при 336 К равна  $1,27 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ . Определить состав равновесной смеси в мольных процентах, если давление равновесной смеси при указанных условиях равно  $1,07 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ .
4. Константа равновесия реакции  $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \leftrightarrow 2\text{HCl}$  при 850 К  $K_p = 12,15$ , а при 690 К  $K_p = 14,8$ . Определить тепловой эффект реакции, считая, что он не зависит от температуры.
5. Зависимость константы равновесия реакции, приведенной в пункте 3, от температуры выражается уравнением

$$\ln K_p = -66250 / T - 1,75 \ln T - 0,2.$$

Определить внутреннюю энергию, энтропию и энергию Гиббса этой реакции при 1301 К.

## Вариант 7

1. В чем заключается принцип Бертло–Томсена, предложенный для измерения химического сродства? Почему он не применим для химических реакций при любой температуре?

2. При  $494^{\circ}\text{C}$  и  $990\text{ гПа}$  диоксид азота диссоциирован на  $56,3\%$  на окись азота и кислород. Определите давление, при котором степень диссоциации равна  $80\%$ , а также энергию Гиббса этой реакции.
3. При некоторой температуре равновесные концентрации в системе  $\text{SO}_2 + 0,5\text{O}_2 \leftrightarrow \text{SO}_3$  составили соответственно  $0,04$ ;  $0,06$ ;  $0,02$  моль/л. Определить исходные концентрации двуокиси серы и кислорода.
4. Давление реакции разложения карбоната магния при  $450^{\circ}\text{C}$  составляет  $6,8\text{ мм рт. ст.}$ , а при  $490^{\circ}\text{C}$  равно  $59,0\text{ мм рт. ст.}$  Найти константы равновесия для этих температур и вычислить теплоту этой реакции в указанном температурном интервале.
5. Будет ли происходить самопроизвольно процесс разложения этилового спирта на воду и этилен при  $480\text{ К}$  при концентрациях соответственно:  $4$ ,  $3$  и  $2$  моль/л, если известно, что из начальных  $2$  моль/л спирта к моменту установления равновесия образуется  $1,5$  моль/л этилена при этой же температуре?

### Вариант 8

1. Как изменяется константа химического равновесия при увеличении температуры в эндотермической реакции?
2. При  $880\text{ К}$  и давлении  $1,0 \cdot 10^5\text{ Н/м}^2$  степень диссоциации этана на этилен и водород равна  $43\%$ . Определить энергию Гиббса реакции.
3. При  $550^{\circ}\text{C}$  и  $1,013 \cdot 10^5\text{ Па}$  из  $1$  моль  $\text{CO}$  и  $1$  моль  $\text{Cl}_2$  к моменту достижения равновесия образуется  $0,2$  моль фосгена. Определить  $K_p$  и  $K_c$  реакции  $\text{CO} + \text{Cl}_2 \leftrightarrow \text{COCl}_2$ .
4. Константа равновесия реакции  $\text{CO} + 2\text{H}_2 \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OH}$  при постоянном давлении и  $250^{\circ}\text{C}$  равна  $2,32 \cdot 10^3$ . Найти  $K_c$  и вычислить при указанной температуре энергию Гельмгольца и нормальное сродство.
5. Зависимость константы равновесия реакции, приведенной в предыдущем пункте, от температуры выражается уравнением
 
$$\ln K_p = -4600 / T + 0,6 \ln T + 7,7.$$

Определить внутреннюю энергию, энтропию, энергию Гельмгольца и энергию Гиббса этой реакции при  $320\text{ К}$ .

### Вариант 9

1. Изменится ли константа химического равновесия при повышении температуры в экзотермической реакции? Если да, то как? Если нет, то почему?
2. При  $49,7^{\circ}\text{C}$  и  $348\text{ гПа}$   $\text{N}_2\text{O}_4$  диссоциирует на  $63\%$  по уравнению  $\text{N}_2\text{O}_4 \leftrightarrow 2\text{NO}_2$ . Определить энергию Гиббса реакции. Какова будет степень диссоциации при этой же температуре под давлением  $125\text{ гПа}$ ?
3. В реакции гидрирования этилена в закрытом сосуде емкостью  $0,007\text{ м}^3$  содержится  $392\text{ г}$  этилена и  $28\text{ г}$  водорода, причем к моменту установления равновесия образовалось  $210\text{ г}$  этана. Сколько грамм этана образуется, если к исходной смеси добавить по  $7$  молей этилена и водорода при той же температуре.

4. Определить константу равновесия реакции при 900 К, если известно, что при 1078 К она равна 100, а тепловой эффект в этом интервале температур постоянен и равен -50 ккал/моль.

5. При 660<sup>0</sup>С константа равновесия реакции  $\text{CO} + \text{Cl}_2 \leftrightarrow \text{COCl}_2$   $K_p = 1,678 \cdot 10^{-6} \text{ Па}^{-1}$ . Вычислить максимальную работу образования 1 моль  $\text{COCl}_2$  при этой температуре и парциальном давлении  $0,507 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , если  $\text{CO}$ ,  $\text{Cl}_2$  и  $\text{COCl}_2$  взяты при парциальных давлениях соответственно  $2,026 \cdot 10^5$ ,  $3,039 \cdot 10^5$  и  $0,507 \cdot 10^5 \text{ Па}$ .

### Вариант 10

1. Каковы термодинамические и молекулярно-кинетические признаки равновесного состояния в гомогенных и гетерогенных химических реакциях?

2. Константа равновесия реакций  $\text{CaCO}_3 \leftrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$  и  $\text{MgCO}_3 \leftrightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2$  записывается одинаково. Почему численные значения констант этих двух реакций при одной и той же температуре различны?

3. Определить константу равновесия для реакции  $\text{C} + \text{O}_2 \leftrightarrow \text{CO}_2$ , если в момент равновесия при  $T = 1573 \text{ К}$  в смеси имеется 22,5%  $\text{CO}_2$  в процентах по объему.

4. По следующим экспериментальным данным определить графически тепловой эффект реакции разложения молекулы йода.

T, К	950	1050	1150	1250
$K_p \cdot 10^{-2}, \text{ Н/м}^2$	1,149	7,413	34,28	178,8

5. Взято 2 моль бутилена и 3 моль водорода. При 1000 К установилось равновесие, к этому моменту прореагировало 1,5 моль бутилена. Начиная с какой концентрации будет происходить самопроизвольное разложение образующегося бутана при этой температуре, если в реакционной смеси содержится 1 моль бутилена и 2 моль водорода?

### Вариант 11

1. Как определить, в каком направлении пойдет реакция в данных условиях? Что является критерием направленности процесса? Какие известны условия достижения химической реакцией положения равновесия? Приведите примеры.

2. При нагревании 224 г азота и 256 г кислорода в закрытом сосуде емкостью 0,008 м<sup>3</sup> при 500<sup>0</sup>С установилось равновесие и образовалось 192 г окиси азота. Сколько грамм окиси азота получится, если к исходной смеси добавить 112 г азота и 128 г кислорода при той же температуре? Рассчитать энергию Гельмгольца этой реакции.

3. При 750 К и давлении  $1,0133 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$  степень диссоциации полтораокси азота на окись и двуокись равна 58%. Определить значение  $K_c$ .



4. Константа равновесия реакции при 850 К равна  $1,21 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>. Определить температуру, при которой константа равновесия равна  $3,0 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>, если тепловой эффект реакции постоянен и равен -65 кДж/моль.
5. Будет ли происходить самопроизвольно разложение  $\text{PCl}_5$  в газовой смеси, содержащей  $\text{PCl}_3$ ,  $\text{Cl}_2$  и  $\text{PCl}_5$  при 298 К, если парциальные давления реагирующих веществ равны соответственно 10 133, 120 266 и 5066 Н/м<sup>2</sup>? Константа равновесия при этой температуре равна 0,5 атм.

## Вариант 12

1. Уравнение изотермы химической реакции, понятие химического сродства. В чем сущность теории Гиббса–Гельмгольца и Вант-Гоффа о химическом сродстве? Что называется стандартным химическим сродством?
2. Если нагреть 762 г йода и 12 г водорода в закрытом сосуде емкостью 0,003 м<sup>3</sup> до 420°C, то при достижении равновесия образуется 576 г йодистого водорода. Сколько йодистого водорода получится, если к исходной смеси добавить 762 г йода и 6 г водорода при той же температуре? Определить энергию Гельмгольца этой реакции.
3. При 500 К равновесие в системе  $\text{PCl}_5 \leftrightarrow \text{PCl}_3 + \text{Cl}_2$  характеризуется значением  $K_p = 0,33$  атм. Определить степень диссоциации под общим давлением 8 атм и давление, при котором степень диссоциации 10%.
4. Определить температуру, при которой давление углекислого газа над  $\text{CaCO}_3$  будет  $10^5$  Па, если известно, что при 1035 К давление 13 332 Па. Тепловой эффект реакции разложения известняка 167,91 кДж/моль.
5. Константа равновесия реакции  $4\text{CO} + 2\text{SO}_2 \leftrightarrow \text{S}_2 + 4\text{CO}_2$  зависит от температуры согласно уравнению

$$\ln K_p = 10327/T + 1,2 \ln T - 8,3.$$

Определить изменение внутренней энергии, энтальпии, энергии Гиббса и энтропии этой реакции при 1000 К.

## Вариант 13

1. Особенности химических равновесий в гетерогенных реакциях. Дать примеры выражений констант равновесий гетерогенных процессов.
2. Сколько проб необходимо взять при выполнении данной лабораторной работы и почему?
3. Какова степень диссоциации углекислого газа на кислород и окись углерода при 2273 К и давлении 1 атм., если константа равновесия при этом  $24,93$  Н/м<sup>2</sup>?
4. Константа равновесия реакции при 900 К равна 97 383. Определить температуру, при которой константа равновесия равна 1000, если тепловой эффект реакции не зависит от температуры и равен 50 ккал/моль.

5. Если взять 2 моль/л ацетилен и 1 моль/л водорода при 500 К, к моменту установления равновесия в системе образуется 0,75 моль/л этилена. Какой должна быть концентрация этилена, чтобы осуществить процесс его самопроизвольного разложения при той же температуре, если исходные концентрации ацетилен и водорода при этом равны по 2 моль/л?

#### Вариант 14

1. Как влияет температура на направленность химического процесса? Определить, в каком направлении сместится равновесие при увеличении температуры, если тепловой эффект реакции меньше нуля.
2. Укажите основные методы расчета константы равновесия.
3. При нагревании 220 г углекислого газа и 10 г водорода в закрытом сосуде емкостью 0,005 м<sup>3</sup> при определенной температуре установилось равновесие и образовалось 112 г окиси углерода и 72 г паров воды. Сколько грамм окиси углерода получится, если к исходной смеси добавить 110 г углекислого газа и 5 г водорода при той же температуре?
4. Константа равновесия реакции при 700 К равна 17 Н/м<sup>2</sup>, а при 600 К она равна 5890 Н/м<sup>2</sup>. Определить тепловой эффект в указанном интервале температур и нормальное сродство при 700 К.
5. В реакции участвует 1 моль азота и 2 моль кислорода. При 685 К установилось равновесие, при котором образовалось 1,5 моль окиси азота. Будет ли происходить самопроизвольное образование окиси азота, а может ее разложение, если в реакционной смеси содержится: азота – 0,5 моль; кислорода – 0,5 моль; окиси азота – 2 моль при той же температуре?

#### Вариант 15

1. Как зависит направление процесса от концентрации реагирующих веществ, от парциальных давлений в гомогенных газовых реакциях?
2. Различные способы выражения константы равновесия химических реакций. При каких условиях  $K_p = K_c$ , когда они отличаются друг от друга? Какие термодинамические потенциалы, позволяющие судить о самопроизвольном протекании реакции, можно рассчитать, зная значения  $K_p$  и  $K_c$ ?
3. В реакции  $\text{CO} + \text{Cl}_2 \leftrightarrow \text{COCl}_2$  равновесные концентрации веществ равны соответственно 0,2; 0,3 и 1,2 моль/л. Вычислить константу равновесия и начальные концентрации хлора и окиси углерода.
4. Для реакции гидрирования толуола  $K_p = 0,646$  при 555 К. Определить константу равновесия при 505,8 К, если тепловой эффект реакции в этом интервале температур постоянен и равен -48940 ккал/моль. Определить энергию Гельмгольца при 505,8 К.

5. Зависимость константы равновесия гетерогенной реакции  $\text{CaCO}_3 \leftrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$  от температуры выражается уравнением

$$\ln K_p = -9680/T - 1,38 \ln T + 7,0.$$

Определить внутреннюю энергию, энтропию и энергию Гиббса этой реакции при 1000 К.

### Вариант 16

1. Каково соотношение между  $K_p$  и  $K_c$  для реакции  $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \leftrightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ? Если известны значения  $K_p$  и  $K_c$ , то можно ли определить вероятность самопроизвольного протекания этой реакции?

2. Как изменяется константа химического равновесия при уменьшении температуры в экзотермической реакции?

3. При смешении 2 моль/л двуокиси азота и 2 моль/л двуокиси серы имеет место реакция  $\text{SO}_2 + \text{NO}_2 \leftrightarrow \text{SO}_3 + \text{NO}$ .

При достижении равновесия в реакционной смеси находится 25% исходных веществ. Каков будет процентный состав равновесной смеси, если начальные концентрации всех 4-х веществ взять по 1 моль/л?

4. Константа равновесия реакции при 1600 К равна  $1,0 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ , а при 1200 К она  $2,66 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$ . Определить тепловой эффект реакции в указанном интервале температур и нормальное сродство при 1600 К.

5. Зависимость константы равновесия реакции  $\text{CO} + 3\text{H}_2 \leftrightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$  от температуры выражается уравнением

$$\ln K_p = 2300/T - 4,3 \ln T + 7,0.$$

Определить тепловой эффект реакции, внутреннюю энергию, энтропию и энергию Гиббса при 500 К.

### Вариант 17

1. Гидроксид калия растворяется в воде с выделением тепла, следовательно, в соответствии с принципом Ле Шателье, увеличение растворимости КОН должно происходить при понижении температуры. Чем это можно объяснить?

2. Константа равновесия гомогенной газовой реакции окисления хлористого водорода при 800 К равна 2 л/моль. Определить исходную концентрацию хлористого водорода при этой же температуре, если начальная концентрация кислорода 1 моль/л, а его равновесная концентрация вдвое меньше. Рассчитать также энергию Гельмгольца этой реакции.

3. При  $438^\circ\text{C}$  и давлении  $1,0 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$  степень диссоциации  $\text{PCl}_5$  на  $\text{Cl}_2$  и  $\text{PCl}_3$  равна 68%. Определите значения  $K_p$  и  $K_c$ .

4. Константа равновесия реакции при 900 К равна 10. Определить температуру, при которой константа равновесия равна 1000, если тепловой эффект реакции не зависит от температуры и равен 50 ккал/моль.

5. Взято 1 моль/л пропилена и 3 моль/л водорода. При 800 К установилось равновесие, к этому моменту прореагировало 1,5 моль/л водорода. Начиная с какой концентрации будет происходить самопроизвольное разложение пропана при этой температуре, если в реакционной смеси содержится 2,5 моль/л пропилена и 4 моль/л водорода?

### Вариант 18

1. Производство аммиака состоит в соединении азота (из воздуха) с водородом, полученным термическим разложением водяных паров на раскаленном коксе. Что выгоднее для увеличения выхода аммиака – удвоение парциального давления водорода или азота?

2. Напишите уравнение изотермы для реакции  $\text{H}_2 + \text{Br}_2 \leftrightarrow 2\text{HBr}$  (все вещества в идеальном газообразном состоянии).

3. В реакции гидролиза этилена в закрытом сосуде емкостью 0,009 м<sup>3</sup> содержится 504 г этилена и 324 г воды, причем к моменту установления равновесия при температуре 660<sup>0</sup>С образовалось 414 г этилового спирта. Сколько моль спирта образуется при этой же температуре, если к исходной смеси добавить по 9 молей этилена и воды?

4. Константа равновесия реакции при 1000 К равна  $3,0399 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ , а при 850 К она составляет  $1,21 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ . Определить тепловой эффект реакции в указанном интервале температур и нормальное сродство при 1000 К.

5. Зависимость константы равновесия гомогенной газовой реакции  $4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2$  от температуры выражается уравнением

$$\ln K_c = 5020/T + 1,75 \ln T - 6,1.$$

Определить тепловой эффект, внутреннюю энергию, энтропию, энергию Гельмгольца этой реакции при 1000 К.

### Вариант 19

1. Охарактеризовать динамическое равновесие в гомогенных и гетерогенных химических реакциях. Закон действующих масс, связь между  $K_p$  и  $K_c$ . Зная величину  $K_p$ , можно ли судить о самопроизвольном протекании реакции?

2. Как изменится выход продуктов реакции  $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \leftrightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$  при уменьшении давления в системе в 3 раза?

3. Константа равновесия реакции  $\text{H}_2 + \text{I}_2 \leftrightarrow 2\text{HI}$  равна 40. Определить, какой процент водорода и йода перейдет в HI, если концентрации этих веществ одинаковы и составляют 0,01 моль/л.

4. Для реакции  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$  определить  $K_p$  при 1000 К, если при 298 К константа равновесия этой реакции равна  $1,52 \cdot 10^5$ , а зависимость теплового эффекта реакции от температуры дается уравнением

$$\Delta H_T = -10000 - 0,219T + 2,845 \cdot 10^{-3} T^2 - 0,97 \cdot 10^{-6} T^3.$$

5. Зависимость константы равновесия гомогенной газовой реакции, приведенной в пункте 2, от температуры выражается уравнением

$$\ln K_c = 5750/T - 2,1 \ln T - 0,008T + 5,3.$$

Определить внутреннюю энергию, энтропию и энергию Гиббса этой реакции при 751 К.

### Вариант 20

1. Как повысить растворимость вещества, если известно, что его растворение происходит с понижением температуры?

2. Написать выражение константы равновесия для реакции  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \leftrightarrow 2\text{Fe} + \frac{3}{2}\text{O}_2$ .

Как определить, будет ли эта реакция протекать самопроизвольно?

3. При 400 К и давлении  $2,0266 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$  степень диссоциации муравьиной кислоты на водород и углекислый газ равна 91%. Определить  $K_p$  и  $K_c$ .

4. Константа равновесия реакции при 980 К равна  $1,9 \cdot 10^{-15} \text{ Н/м}^2$ , а при 730 К она  $658 \text{ Н/м}^2$ . Определить тепловой эффект реакции в указанном интервале температур.

5. Зависимость константы равновесия гетерогенной реакции, приведенной в пункте 2, от температуры выражается уравнением

$$\ln K_p = 9874/T - 7,1 \ln T + 0,002T + 18,6.$$

Определить тепловой эффект, энергию Гельмгольца, энергию Гиббса и энтропию этой реакции при температуре 1000 К.

### Вариант 21

1. Изменится ли константа химического равновесия при повышении температуры в экзотермической реакции? Если да, то как? Если нет, то почему?

2. Если нагреть 762 г йода и 12 г водорода в закрытом сосуде емкостью  $0,003 \text{ м}^3$  до  $420^\circ\text{C}$ , то при достижении равновесия образуется 576 г йодистого водорода. Сколько йодистого водорода получится, если к исходной смеси добавить 762 г йода и 6 г водорода при той же температуре? Определить энергию Гельмгольца этой реакции.

3. При смешении 2 моль/л двуокиси азота и 2 моль/л двуокиси серы имеет место реакция  $\text{SO}_2 + \text{NO}_2 \leftrightarrow \text{SO}_3 + \text{NO}$ .

При достижении равновесия в реакционной смеси находится 50% исходных веществ. Каков будет процентный состав равновесной смеси, если начальные концентрации всех 4-х веществ взять по 1 моль/л?

4. Для реакции  $\text{SO}_2 + 0,5\text{O}_2 \leftrightarrow \text{SO}_3$   $K_p = 0,55$  при 900 К, а при 1000 К  $K_p = 1,86$ . Определить тепловой эффект в этом температурном интервале, считая, что он не зависит от температуры. Вычислить  $K_c$  при 900 К.

5. При  $660^{\circ}\text{C}$  константа равновесия реакции  $\text{CO} + \text{Cl}_2 \leftrightarrow \text{COCl}_2$   $K_p = 1,678 \cdot 10^{-6} \text{ Па}^{-1}$ . Вычислить максимальную работу образования 1 моль  $\text{COCl}_2$  при этой температуре и парциальном давлении  $0,507 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , если  $\text{CO}$ ,  $\text{Cl}_2$  и  $\text{COCl}_2$  взяты при парциальных давлениях соответственно  $2,026 \cdot 10^5$ ,  $3,039 \cdot 10^5$  и  $0,507 \cdot 10^5 \text{ Па}$ .

## Вариант 22

1. Изменится ли константа химического равновесия при повышении температуры в экзотермической реакции? Если да, то как? Если нет, то почему?
2. Константа равновесия реакций  $\text{CaCO}_3 \leftrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$  и  $\text{MgCO}_3 \leftrightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2$  записывается одинаково. Почему численные значения констант этих двух реакций при одной и той же температуре различны?
3. При нагревании 220 г углекислого газа и 10 г водорода в закрытом сосуде емкостью  $0,005 \text{ м}^3$  при определенной температуре установилось равновесие и образовалось 112 г окиси углерода и 72 г паров воды. Сколько грамм окиси углерода получится, если к исходной смеси добавить 110 г углекислого газа и 5 г водорода при той же температуре?
4. Константа равновесия реакции при 1600 К равна  $1,0133 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ , а при 1200 К она  $2,66 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$ . Определить тепловой эффект реакции в указанном интервале температур и нормальное сродство при 1600 К.
5. Зависимость константы равновесия реакции  $\text{CO} + 3\text{H}_2 \leftrightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$  от температуры выражается уравнением

$$\ln K_p = 2300/T - 4,3 \ln T + 7,0.$$

Определить тепловой эффект реакции, внутреннюю энергию, энтропию и энергию Гиббса при 500 К.

## Вариант 23

1. Сформулировать принцип подвижных равновесий Ле Шателье. Как, исходя из этого принципа, предвидеть влияние температуры на константу равновесия? Привести примеры.
2. Привести различные способы выражения константы равновесия химических реакций. При каких условиях  $K_p = K_c$ , когда они отличаются друг от друга? Какие термодинамические потенциалы, позволяющие судить о самопроизвольном протекании реакции, можно рассчитать, зная значения  $K_p$  и  $K_c$ ?
3. При  $438^{\circ}\text{C}$  и давлении  $1,0133 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$  степень диссоциации  $\text{PCl}_5$  на  $\text{Cl}_2$  и  $\text{PCl}_3$  равна 58%. Определите значение  $K_p$  и  $K_c$ .
4. Для реакции гидрирования толуола при 555 К  $K_p = 0,646$ . Определить константу равновесия при 505,8 К, если тепловой эффект реакции в этом интервале температур постоянен и равен  $-48940 \text{ ккал/моль}$ . Определить энергию Гельмгольца при 505,8 К.

5. Если взять 2 моль/л ацетилен и 1 моль/л водорода при 500 К, к моменту установления равновесия в системе образуется 0,75 моль/л этилена. Какой должна быть концентрация ацетилена, чтобы осуществить процесс его самопроизвольного разложения при той же температуре, если исходные концентрации ацетилена и водорода при этом по 2 моль/л?

#### Вариант 24

1. Каково соотношение между  $K_p$  и  $K_c$  для реакции  $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \leftrightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ? Если известны значения  $K_p$  и  $K_c$ , то можно ли определить вероятность самопроизвольного протекания этой реакции?
2. При 880 К и давлении  $1,0 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$  степень диссоциации этана на этилен и водород равна 45%. Определить энергию Гиббса реакции.
3. При 750 К и давлении  $1,0 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$  степень диссоциации полутороакиси азота на окись и двуокись равна 58%. Определить значение  $K_c$ .
4. Константа равновесия реакции при 700 К равна  $17 \text{ Н/м}^2$ , а при 600 К она равна  $5890 \text{ Н/м}^2$ . Определить тепловой эффект в указанном интервале температур и нормальное сродство при 700 К.
5. В реакции участвует 1 моль азота и 2 моль кислорода. При 685 К установилось равновесие, при котором образовалось 1,5 моль окиси азота. Будет ли происходить самопроизвольное образование окиси азота или разложение, если в реакционной смеси содержится: азота – 0,5 моль; кислорода – 0,5 моль; окиси азота – 2 моль (при той же температуре)?

#### Вариант 25

1. Сформулировать уравнения изобары и изохоры химической реакции. Приближенное и уточненное интегрирование этих уравнений.
2. Укажите основные методы расчета константы равновесия.
3. В реакции  $\text{CO} + \text{Cl}_2 \leftrightarrow \text{COCl}_2$  равновесные концентрации веществ равны соответственно 0,2; 0,3 и 1,2 моль/л. Вычислить константу равновесия и начальные концентрации хлора и окиси углерода.
4. Для реакции гидрирования толуола  $K_p = 0,646$  при 555 К. Определить константу равновесия при 505,8 К, если тепловой эффект реакции в этом интервале температур постоянен и равен  $-48\,940 \text{ ккал/моль}$ . Определить энергию Гельмгольца при 505,8 К.
5. Взято 1 моль/л пропилена и 3 моль/л водорода. При 800 К установилось равновесие, к этому моменту прореагировало 1,5 моль/л водорода. Начиная с какой концентрации будет происходить самопроизвольное разложение пропана при этой температуре, если в реакционной смеси содержится 2,5 моль/л пропилена и 4 моль/л водорода?

# МОЛЕКУЛЯРНЫЕ РАСТВОРЫ

## Вариант 1

1. Описать температуру замерзания растворов нелетучих веществ в летучих растворителях. Криоскопия. Каков физический смысл криоскопической константы и как ее рассчитать?
2. Выразить концентрацию 2,068 г-экв/л водного раствора сульфата кадмия плотностью 1,198 г/мл через массовые проценты, молярность, моляльность и мольные доли.
3. При распределении салициловой кислоты между бензолом и водой были получены следующие данные, моль/л:

В воде	0,0 363	0,0 940	0,2 100	0,5 580	0,9 120
В $C_6H_6$	0,0 184	0,0 977	0,3 290	1,6 500	4,3 400

Найти вид закона распределения, предположив, что салициловая кислота в бензоле образует димеры. Определить графически  $n$  и коэффициент распределения.

4. В 1 кг воды растворено 0,0 684 кг сахара ( $M = 342$  г/моль). Вычислить давление пара этого раствора при 373 К. Рассчитать его температуру кипения, если теплота испарения воды составляет 2256,7 кДж/кг.
5. Построить диаграмму равновесия жидкость – пар для бинарной системы А – Б при постоянной температуре по приведенным в таблице данным.

$P$ , мм рт. ст.	1000	800	600	500	400	250
$\varphi_A^ж$ , % (мас.)	100	83	61	47	30	0
$\varphi_A^п$ , % (мас.)	100	93	81	72	60	0

А – уксусная кислота, Б – вода.

Определить, каков состав смеси, закипающий при данной температуре и давлении 500 мм рт. ст.? Каков состав пара при давлении 780 мм рт. ст.? Какой продукт можно получить в кубовом остатке и в отгоне при ректификационной перегонке данной смеси? Какое количество жидкости и пара можно получить при ректификации, если 1 кг смеси состава 40% по весу вещества А находится под давлением 46 655 Па?

## Вариант 2

1. Охарактеризовать реальные растворы. Дать график зависимости общего и парциальных давлений пара от состава реального раствора, объяснить причины положительных или отрицательных отклонений от закона Рауля.
2. Выразить концентрацию 1,33 моль на 1000 г водного раствора нитрата меди плотностью 1,189 г/см<sup>3</sup> через весовые проценты, молярность, нормальность и мольные доли.



3. Распределение анилина между водой и толуолом определяется приведенными в таблице данными, моль/л.

В воде	23,2	48,4	102
В толуоле	181	413	1006

Найти коэффициент распределения анилина и константу ассоциации анилина в толуоле.

4. Определить относительное понижение давления пара для раствора, содержащего 0,01 моль нелетучего растворенного вещества в 0,5 кг воды.

5. Построить диаграмму равновесия жидкость – пар для бинарной системы А – Б при постоянной температуре по приведенным в таблице данным.

P, мм рт. ст.	100	200	400	600	800	900	1000
$\varphi_A^{\text{ж}}$ , % (мас.)	100	98	92	78	50	30	0
$\varphi_A^{\text{п}}$ , % (мас.)	100	93	75	54	30	17	0

Определить, является ли данная система идеальным раствором или есть отклонения от идеальности? Какие продукты можно получить в отгоне и в остатке при ректификационной перегонке данной бинарной смеси? Каков состав жидкой фазы при давлении 93 310 Па? Каков состав пара при 400 мм рт. ст.? Какое количество жидкости и пара будет в смеси, если 1 кг смеси состава 40% по весу вещества А находится под давлением 1066,4 гПа?

### Вариант 3

1. Объяснить применение правила рычага для нахождения весового количества жидкой парообразной фаз бинарных неограниченно смешивающихся жидкостей.

2. Выразить концентрацию 1,96 моль/кг водного раствора хлорида меди плотностью 1205 кг/м<sup>3</sup> через весовые проценты, молярность, нормальность и мольные доли.

3. Вычислить, сколько фенола можно извлечь из 500 мл 0,4 моль/л водного раствора фенола при взбалтывании его дважды со 100 мл амилового спирта, если раствор, содержащий 10,53 г/л фенола в амиловом спирте, находится в равновесии с водным раствором, концентрация которого составляет 0,658 г/л фенола.

4. При растворении 0,1 г некоторого вещества в 100 г воды температура замерзания понизилась на 0,014<sup>0</sup>С. Определите молекулярный вес этого вещества, если теплота плавления воды при нормальной температуре плавления равна 6029 Дж/моль.

5. Построить диаграмму равновесия жидкость – пар для бинарной системы А – Б при постоянной температуре по приведенным в таблице данным.

P, мм рт.ст.	1020	300	800	700	600	500	400
N <sub>A</sub> , мольные доли	1,0	0,81	0,65	0,48	0,32	0,16	0
N <sub>A</sub> , мольные доли	1,0	0,94	0,88	0,8	0,7	0,5	0

Определить, каков состав смеси, закипающей при данной температуре и давлении 620 мм рт. ст.? Какой продукт можно получить в кубовом остатке при ректификационной перегонке данной смеси? Каков состав пара при давлении 113 305 Па? При каком давлении закипит смесь состава 0,6 мольные доли вещества А. Является ли данная система идеальным раствором или есть отклонения?

#### Вариант 4

1. Сформулировать второй закон Коновалова. Азеотропные смеси и их фракционная перегонка.
2. Выразить концентрацию 50%-го (мас.) водного раствора нитрата серебра плотностью  $1668 \text{ кг/м}^3$  через молярность, моляльность, нормальность и мольные доли.
3. Распределение фенола между водой и бензолом определяется приведенными в таблице данными, моль/л.

В воде	0,101	0,366	0,520
В бензоле	0,279	2,978	6,487

Фенол ассоциирует в бензольном слое с образованием димеров. Рассчитать коэффициент распределения и константу ассоциации.

4. Температура кипения бензола равна 353,36 К. Его молярная теплота испарения при температуре кипения 30 795 Дж/моль. Определить молярное повышение температуры кипения бензола.
5. Построить диаграмму состояния двух жидкостей А и Б с ограниченной взаимной растворимостью при постоянном давлении по приведенным в таблице данным.

T, К	290	300	310	320	340	360	370
$\varphi_A$ , % (мас.)	93	89	85	81	71	54	35
	8	9	10	12	17	25	35

Внешняя область однофазная.

Определить состав фаз при 330 К, найти весовое отношение фаз для фигуративной точки состава 35% вещества А при этой же температуре, для этой точки определить число степеней свободы. Какова критическая температура взаиморастворения данных жидкостей?

#### Вариант 5

1. Охарактеризовать системы с ограниченной взаимной растворимостью жидкостей. Рассмотреть диаграммы состояния систем: вода – анилин и вода – никотин.
2. Выразить концентрацию 4,604 н водного раствора нитрата кальция плотностью  $1259 \text{ кг/м}^3$  через весовые проценты, молярность, моляльность и мольные доли.

3. При распределении фенола между водой и бензолом получены приведенные в таблице данные, моль/л.

В воде	0,0316	0,123	0,327	0,750
В бензине	0,077	0,159	0,253	0,390

Найти вид закона распределения, определив графически  $n$  и коэффициент распределения.

4. Вычислить давление пара эфира над 3% (мас.) раствором анилина в этиловом эфире ( $C_2H_5$ )<sub>2</sub>O. Давление пара эфира при этой температуре равно 589 гПа.

5. Построить диаграмму равновесия жидкость – пар для бинарной системы А – Б при постоянном давлении по приведенным в таблице данным.

T, К	323	348	373	398	423	448	473
$\varphi_A^{\text{ж}}$ , % (мас.)	100	94	88	82	77	72	62
	0	0	17	30	40	48	62
$\varphi_A^{\text{п}}$ , % (мас.)	100	98	95	92	88	81	62
	0	0	5	12	20	30	62

Определить, каков состав последней капли жидкости при нагревании исходной смеси, содержащей 20% вещества А? При какой температуре появится первый пузырек пара и каков его состав, если нагревать исходную смесь, содержащую 90% вещества А? Какое количество жидкости и пара будет в смеси, если 1 кг смеси состава 40% (мас.) вещества А находится при температуре 448 К?

## Вариант 6

1. Вывести соотношение между мольными долями компонентов в жидкой фазе и в паре для бинарных систем.

2. Выразить концентрацию 20% (мас.) водного раствора сульфата алюминия плотностью 1226 кг/м<sup>3</sup> через молярность, нормальность, моляльность и мольные доли.

3. Какое количество йода останется в 1 л водного раствора, который был насыщен при 18<sup>0</sup>С, после взбалтывания со 100 см<sup>3</sup> сероуглерода? Растворимость йода в воде составляет 0,28 г/л. Коэффициент распределения равен  $1,695 \cdot 10^{-3}$ .

4. Температура замерзания раствора, содержащего 2,6 152 г эфира этиленгликоля в 0,1 кг воды, ниже температуры замерзания воды на 0,5 535<sup>0</sup>. Определить молекулярную массу эфира, если теплота плавления воды составляет 6029 Дж/моль.

5. При изучении равновесия системы хлороформ – диэтиловый эфир при 298 К получены приведенные в таблице значения парциальных давлений насыщенного пара.

$N_{\text{эфир}}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$P_{\text{эфир}}, \text{ гПа}$	0,00	46	128,7	266,6	409	533
$P_{\text{хлороф}}, \text{ гПа}$	193,3	148	92	46	16,5	0,0

Построить графики зависимости парциальных и общего давлений пара от состава раствора. Сделать заключение относительно характера отклонения от закона Рауля, об изменении объема при образовании раствора и о тепловом эффекте смешения.

## Вариант 7

1. Описать температуру кипения растворов нелетучих веществ в летучих растворителях. Что такое Эбуллиоскопия? Каков физический смысл эбуллиоскопической постоянной и как ее рассчитать?
2. Выразить концентрацию 1,93 н водного раствора хлорида алюминия плотностью  $1,071 \text{ г/см}^3$  через весовые проценты, молярность, моляльность и мольные доли.
3. Фенол имеет нормальную молекулярную массу и в воде, и в амиловом спирте. Раствор, содержащий  $10,53 \text{ кг/м}^3$  фенола в амиловом спирте, находится в равновесии с водным раствором, содержащим  $0,658 \text{ кг/м}^3$  фенола. Какое количество (кг) фенола будет получено из 0,5 л водного раствора концентрации  $37,6 \text{ кг/м}^3$  двукратным экстрагированием амиловым спиртом. Для каждого экстрагирования берется по 100 мл спирта.
4. Давление пара этанола составляет 470 гПа, а давление пара метанола равно 833 гПа. Смесь этих спиртов, которую можно считать идеальной, содержит 50% (мас.) каждого компонента. Каков состав пара над раствором при этой температуре?
5. Построить диаграмму равновесия жидкость – пар для бинарной системы А – Б при постоянном давлении по приведенным в таблице данным.

$T, \text{ К}$	303	348	378	398	436	456
$\varphi_{\text{А}}^{\text{ж}}, \% (\text{мас.})$	43	14	8	3	0	0
	43	71	82	90	95	100
$\varphi_{\text{А}}^{\text{п}}, \% (\text{мас.})$	43	24	16	9	0	0
	43	59	67	75	84	100

Определить, при какой температуре кипит азеотропная смесь и каков ее состав? Какие продукты можно получить в отгоне и в кубовом остатке при ректификационной перегонке смеси, содержащей 80% вещества А? Какова температура кипения смеси, содержащей 5% вещества А? Каков состав последней капли жидкости при нагревании смеси состава 10% вещества Б?

## Вариант 8

1. Что такое активность и фугитивность, коэффициент активности и коэффициент фугитивности?
2. Выразить концентрацию 14% (мас.) водного раствора хлорида бария плотностью  $1095 \text{ кг/м}^3$  через молярность, моляльность, нормальность и мольные доли.
3. Распределение фенола между водой и хлороформом при  $25^\circ\text{C}$  определяется приведенными в таблице равновесными концентрациями, мг/л.

В воде	73,7	163	247	436
В хлороформе	254	761	1850	5430

Проверить предположение, что фенол в хлороформе существует в форме ассоциатов. Определить закон распределения фенола между водой и хлороформом.

4. Давление пара воды при 293 К равно 2338,5 Па, давление пара раствора составляет 2295,8 Па. Определить осмотическое давление при 313 К, если плотность раствора при этой температуре равна  $1010 \text{ кг/м}^3$ . Молекулярная масса растворенного вещества составляет 60 г/моль.
5. Построить диаграмму состояния жидкость – пар для бинарной системы А – Б при постоянной температуре по приведенным в таблице данным.

P, мм рт. ст.	300	350	400	500	600	700	800
$\varphi_A^{\text{ж}}, \% \text{ (мас.)}$	0	100	98	92	85	77	55
	—	2	4	10	17	29	55
$\varphi_A^{\text{п}}, \% \text{ (мас.)}$	—	100	94	84	75	68	55
	0	5	10	21	32	42	55

Определить, какие продукты можно получить в отгоне и в кубовом остатке при ректификационной перегонке смеси, содержащей 30% (мас.) вещества А? При каком давлении закипит смесь, содержащая 10% (мас.) вещества А? Какое количество жидкости и пара будет в смеси, если 1 кг смеси состава 80% (мас.) вещества А находится под давлением 79 980 Па?

## Вариант 9

1. Химический потенциал компонента в первой фазе больше, чем во второй. В какую из фаз самопроизвольно переходит этот компонент?
2. Выразить концентрацию 0,084 мольные доли водного раствора бромида кальция плотностью  $1635 \text{ кг/м}^3$  через весовые проценты, молярность, моляльность и нормальность.
3. При распределении уксусной кислоты между  $\text{CCl}_4$  и водой были получены приведенные в таблице равновесные концентрации, г/л.

В $\text{CCl}_4$	2,92	3,63	7,25	10,7	14,1
В воде	48,7	54,2	76,4	93,0	107,0

В  $\text{CCl}_4$  уксусная кислота существует в виде димеров. Определить вид закона распределения уксусной кислоты между водой и четыреххлористым углеродом.

4. Давление насыщенного пара над системой из двух несмешивающихся жидкостей диэтиланилин – вода равно 101 330 Па при 372 К. Какое количество пара потребуется для перегонки 0,1 кг диэтиланилина, если давление пара воды при указанной температуре составляет 99 190 Па?

5. Построить диаграмму равновесия жидкость – пар для бинарной системы А – Б при постоянном давлении по приведенным в таблице данным.

T, К	473	448	423	398	373	348
$\varphi_A^{\text{ж}}, \% (\text{мас.})$	37	27	19	10	0	0
	37	53	61	70	82	100
$\varphi_A^{\text{п}}, \% (\text{мас.})$	37	19	10	4	0	0
	37	68	81	90	96	100

Определить, каков состав первого пузырька пара при нагревании смеси, содержащей 75% вещества Б? Какова температура кипения этой смеси? Каков состав последней капли жидкости смеси исходного состава, содержащей 25% вещества Б? Определить количество жидкости и пара, если 1 кг смеси состава 20% вещества А нагреть до температуры 438 К.

## Вариант 10

1. Вывести основное уравнение экстракции. Чем достигается полнота извлечения вещества при экстрагировании?

2. Выразить концентрацию 1,185 моль/л водного раствора хлорида алюминия плотностью 1,129 г/см<sup>3</sup> через весовые проценты, нормальность, молярность и молярные доли.

3. При распределении муравьиной кислоты между бензолом и водой получены приведенные в таблице данные, моль/л.

В бензоле	0,043	0,071	0,094	0,149
В воде	0,245	0,314	0,375	0,500

Определить коэффициент распределения муравьиной кислоты, если в бензольном слое она ассоциирует с образованием димеров.

4. Определить эбуллиоскопическую постоянную для воды, если известно, что при нормальной температуре кипения ее удельная теплота испарения равна 2,464 кДж/кг.

5. Построить диаграмму равновесия жидкость – пар для бинарной системы ацетон – толуол при постоянной температуре по приведенным в таблице данным.

P, мм рт. ст.	850	700	600	500	400	300	250
$\varphi_{\text{ац}}^{\text{ж}}, \% (\text{мас.})$	100	50	35	22	12	3	0
$\varphi_{\text{ац}}^{\text{п}}, \% (\text{мас.})$	100	93	84	72	56	30	0

Определить, какие продукты можно получить в отгоне и в кубовом остатке при ректификационной перегонке данной бинарной смеси? Каков состав жидкой фазы при давлении 79 980 Па? Каков состав пара при 400 мм рт. ст.? Какое количество жидкости и пара будет в смеси, если 1 кг смеси состава 40% (по массе) ацетона находится под давлением 500 мм рт. ст.?

### Вариант 11

1. Каковы свойства систем, состоящих из двух несмешивающихся жидкостей? Что такое перегонка с водяным паром. Как рассчитать расходный коэффициент пара на перегонку 1 кг вещества?
2. Выразить концентрацию 0,05 мольных долей водного раствора соляной кислоты плотностью 1,05 г/см<sup>3</sup> через весовые проценты, молярность, моляльность и нормальность.
3. Коэффициент распределения йода между водой и CCl<sub>4</sub> равен 0,0 117. В обоих растворителях йод имеет одинаковую молекулярную массу. Какой объем четыреххлористого углерода следует взять, чтобы однократным экстрагированием извлечь из 0,5 л водного раствора 99,9; 99; 90% (мас.) заключающегося в нем йода?
4. Техническая уксусная кислота замерзает при 16,4<sup>0</sup>С. Температура замерзания чистой уксусной кислоты составляет 16,7<sup>0</sup>С, ее криоскопическая константа равна 3,9 кг·К/моль. Определить мольную долю примесей в технической уксусной кислоте.
5. Построить диаграмму равновесия жидкость – пар для бинарной системы бензол – толуол при постоянном давлении по приведенным в таблице данным.

T, К	353	358	363	368	373	378	383
$N_{\text{тол}}^{\text{ж}}$	0	0,37	0,55	0,7	0,83	0,93	1
$N_{\text{тол}}^{\text{п}}$	0	0,07	0,15	0,26	0,41	0,62	1

Определить, каков состав первого пузырька пара при нагревании смеси, содержащей 0,4 мольные доли бензола? Какова температура кипения смеси этого состава? Каков состав последней капли жидкости при нагревании исходной смеси, содержащей 0,7 мольных долей бензола? Какое количество жидкости и пара будет в смеси, если 1 кг смеси состава 0,3 мольные доли бензола находится при температуре 375 К?

### Вариант 12

1. Охарактеризовать идеальные растворы, закон Рауля. Дать график зависимости общего и парциального давлений пара от состава раствора.

2. Выразить концентрацию 1,034 моль/л водного раствора сульфата кадмия плотностью 1,198 г/мл через весовые проценты, нормальность, моляльность и мольные доли.
3. При распределении уксусной кислоты между  $\text{CCl}_4$  и водой получены приведенные в таблице данные, моль/л.

В $\text{CCl}_4$	0,292	0,363	1,07	1,41
В воде	4,84	5,47	9,69	10,7

В  $\text{CCl}_4$  уксусная кислота находится частично в виде димеров. Определить вид закона распределения.

4. Давление насыщенного пара воды при  $T = 313 \text{ K}$  равно 7375,4 Па. Вычислить давление пара раствора, содержащего 0,2 г глицерина в 0,36 кг воды.
5. Построить диаграмму равновесия жидкость – пар для бинарной системы сероуглерод – ацетон при постоянном давлении по приведенным в таблице данным.

T, K	314,4	313,3	312,8	312,3	312,1	312,3	313,5	316,5	319,3
$N_{\text{ac}}^{\text{ж}}$ , (мол. %)	70,9	62,0	55,2	46,4	34,7	21,1	12,1	3,2	0
$N_{\text{ac}}^{\text{п}}$ , (мол. %)	47,2	42,6	40,2	37,3	34,7	29,5	24,0	11,5	0

Определить, при какой температуре закипает смесь, содержащая 20% (мол.) ацетона, каков состав первого пузырька пара? При какой температуре исчезнет последняя капля жидкости и какой ее состав? На какие продукты можно разделить смесь, содержащую 85% (мол.) сероуглерода путем ректификации и указать, что будет в отгоне, а что в остатке.

### Вариант 13

1. Сформулировать первый закон Коновалова. Что такое фракционная перегонка? Охарактеризовать устройство и принцип действия ректификационной установки.
2. Выразить концентрацию 1,97 моль на 1000 г водного раствора хлорного закисного железа плотностью 1200 кг/м<sup>3</sup> через весовые проценты, молярность, нормальность и мольные доли.
3. Водный раствор янтарной кислоты (1,21 г на 100 см<sup>3</sup>) находится в равновесии с эфирным раствором янтарной кислоты (0,22 г на 100 см<sup>3</sup>). Определить концентрацию янтарной кислоты в эфирном слое, который находится в равновесии с ее водным раствором (0,484 г на 100 см<sup>3</sup>).
4. Давление пара серного эфира равно 589 гПа, а давление пара раствора, содержащего 0,0061 кг бензойной кислоты в 0,05 кг эфира, равно 548 гПа. Рассчитать молекулярную массу бензойной кислоты в эфире и относительную ошибку опыта в процентах, по сравнению с табличной величиной.



5. При 313 К давления паров дихлорэтана и бензола соответственно равно 206,6 и 243,3 гПа. Какие можно сделать выводы на основании парциальных давлений, приведенных в таблице.

$\varphi_{\text{бензол}}$ (мас. доля)	0,13	0,257	0,56	0,695	0,875	0,972
$P_{\text{дхэ}}, \text{ гПа}$	179	150,7	93,8	66,4	43,0	24,7
$P_{\text{бензол}}, \text{ гПа}$	29	65	134,7	166,3	193,3	214,0

Определить состав смеси, которая кипит при давлении 226,7 гПа. Под каким давлением закипит смесь с молярным содержанием 40% (мас.) бензола?

### Вариант 14

1. Сформулировать закон распределения для идеальных и реальных растворов, практическое применение этого закона для очистки веществ.
2. Выразить концентрацию 30%-го (мас.) водного раствора хлорида алюминия плотностью 1242 кг/м<sup>3</sup> через молярность, нормальность, моляльность и мольные доли.
3. Распределение йода между CCl<sub>4</sub> и водой при 25<sup>0</sup>С определяется приведенными в таблице данными, г/л.

В CCl <sub>4</sub>	4,412	10,38	6,966
В воде	0,0 516	0,1 276	0,0 818

Какой объем CCl<sub>4</sub> надо взять, чтобы одним экстрагированием извлечь из 100 мл водного раствора 90 и 99,9% растворенного йода?

4. Температура замерзания разбавленного водного раствора тростникового сахара составляет 282,171 К. Давление пара чистой воды при этой же температуре равно 568,6 Па, а теплота плавления льда составляет 6019 Дж/моль. Вычислить давление пара раствора.
5. Построить диаграмму состояния двух жидкостей А и Б с ограниченной взаимной растворимостью при постоянном давлении по приведенным в таблице данным.

T, К	325	330	340	360	380	390	400	405
$\varphi_A, \% \text{ (мас.)}$	55	78	86	91	92	90	85	70
	55	40	32	31	40	46	58	70

Внешняя область однофазная.

Для фигуративной точки состава 70% вещества А при 340 К определить состав фаз, весовые количества каждой фазы (если вес всей системы 1 кг). Определить число степеней свободы для этой системы. При какой температуре система становится однофазной?

### Вариант 15

1. Закон распределения для систем, в которых распределяющееся вещество в каждой из фаз имеет различные степени диссоциации. В чем смысл коэффициента  $n$ ?

2. Выразить концентрацию 10%-го (по массе) водного раствора хлорида бария плотностью  $1092 \text{ кг/м}^3$  через молярность, нормальность, моляльность и мольные доли.

3. При изучении распределения уксусной кислоты между бензолом и водой при  $25^\circ\text{C}$  получены приведенные в таблице данные, моль/л.

В бензоле	0,015	0,0 525	1,0 461
В воде	0,684	1,691	9,346

Определить коэффициент распределения и показатель степени  $n$ , если в бензоле уксусная кислота ассоциирована в димеры.

4. Температура плавления фенола равна  $314 \text{ K}$ . Раствор, содержащий  $0,77 \text{ г}$  ацетанилида ( $\text{C}_8\text{H}_9\text{O}$ )N в  $12,54 \text{ г}$  фенола, кристаллизуется при  $310,25 \text{ K}$ . Вычислить криоскопическую постоянную фенола и его удельную теплоту плавления, если молекулярная масса ацетанилида, растворенного в бензоле, соответствует его формуле.

5. Построить диаграмму равновесия жидкость – пар для бинарной системы А – Б при постоянном давлении по приведенным в таблице данным.

T, K	348	373	398	423	448	473
$\varphi_A^{\text{ж}}, \% (\text{мас.})$	0	0	8	18	27	37
	100	75	63	54	45	37
$\varphi_A^{\text{п}}, \% (\text{мас.})$	0	0	1	5	13	37
	100	93	84	75	62	37

Определить, при какой температуре кипит азеотропная смесь и каков его состав? Какие продукты можно получить в отгоне и в остатке при ректификационной перегонке смеси, содержащей 30% (мас.) вещества Б? Какова температура кипения смеси, содержащей 70% вещества А? Какое количество жидкости и пара будет в смеси, если  $1 \text{ кг}$  смеси состава 60% (по массе) вещества А находится при температуре  $433 \text{ K}$ ?

## Вариант 16

1. Охарактеризовать парциальные молярные величины. Дать им определение.

2. Выразить концентрацию 0,1 мольных долей водного раствора хлорида кальция плотностью  $1396 \text{ кг/м}^3$  через весовые проценты, молярность, нормальность и моляльность.

3. Какое количество йода останется в  $1 \text{ л}$  водного раствора, который был насыщен при  $291 \text{ K}$ , после взбалтывания его с  $0,1 \text{ л}$  сероуглерода? Растворимость йода при  $291 \text{ K}$  равна  $1 \text{ г}$  на  $3,616 \text{ л}$ . Коэффициент распределения равен  $0,001 695$ . Молекулярный вес йода в обоих растворителях одинаков.

4. В 0,1 кг эфира ( $M = 74$  г/моль) содержится 0,01 кг нелетучего вещества. Давление пара этого раствора равно 426 мм рт. ст., а давление пара чистого эфира равно 442 мм рт. ст. Рассчитать молекулярную массу растворенного вещества.

5. Построить диаграмму состояния двух жидкостей А и Б с ограниченной взаимной растворимостью при постоянном давлении по приведенным в таблице данным.

T, К	335	340	360	370	380	400	410	413
$\varphi_A$ , % (мас.)	40	55	75	78	77	66	52	37
	40	24	12	10	11	18	28	37

Внешняя область однофазная.

Определить состав фаз при 390 К; чему равны весовые количества каждой фазы (если вес всей системы 1 кг) для фигуративной точки состава 60% вещества Б при 365 К? Определить число степеней свободы для этой точки и для точки этого же состава при 420 К. При какой температуре система становится однофазной?

## Вариант 17

1. Охарактеризовать системы с ограниченной взаимной растворимостью жидкостей. Сформулировать правило В.Ф. Алексеева для определения положения критической точки. Привести примеры диаграмм.

2. Выразить концентрацию 1,405 моль/л водного раствора нитрата серебра плотностью 1,194 г/мл через весовые проценты, нормальность, моляльность и мольные доли.

3. В водном растворе хлорид ртути частично образует димеры, а в бензоле находится в виде простых молекул. Определить вид закона распределения хлорида ртути между водой и бензолом по приведенным в таблице равновесным концентрациям хлорида ртути, моль/л.

В воде	232,16	111,2	64,76	1,845
В бензоле	17,39	8,8	5,24	0,155

4. Температура кипения чистого сероуглерода равна 319,2 К. Раствор, содержащий 0,217 г серы в 19,18 г сероуглерода, кипит при 319,304 К. Эбуллиоскопическая константа сероуглерода составляет 2,37 кг·К на 1 моль. Определить количество атомов, которое содержится в молекуле серы, растворенной в сероуглероде.

5. При 323 К получены приведенные в таблице парциальные давления над системой дихлорэтан – этанол.

$N_{\text{этанол}}$	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
$P_{\text{этанол}}$ , гПа	113,9	195,3	208,5	226	267,2
$P_{\text{дихлорэтан}}$ , гПа	286	268,5	258,5	221,9	114,7

Давление насыщенного пара над чистым этанолом равно 296 гПа, а над чистым дихлорэтаном составляет 311,2 гПа. Вычислить общее давление над системой при всех концентрациях. Построить диаграмму зависимости парциальных и общего давлений насыщенного пара от состава системы. Сделать вывод относительно характера растворов, изменения объема при смешении и о тепловом эффекте смешения.

### Вариант 18

1. Сформулировать физический смысл величины, определяемой выражением  $(\frac{\partial H}{\partial n_i})_{P,S,n_j}$ .
2. Выразить концентрацию 0,083 мольных долей водного раствора хлорида алюминия плотностью 1,341 г/см<sup>3</sup> через весовые проценты, молярность, моляльность и нормальность.
3. Водный раствор пикриновой кислоты концентрации 0,02 моль/л находится в равновесии с раствором пикриновой кислоты в бензоле. Концентрация бензольного раствора равна 0,07 моль/л. Вычислить коэффициент распределения пикриновой кислоты между бензолом и водой, если в бензольном растворе кислота имеет нормальный молекулярный вес, а в воде частично диссоциирована, причем степень диссоциации равна 0,9.
4. Давление пара над системой из двух несмешивающихся жидкостей анилин – вода равно 999,9 гПа при 371 К. Давление пара воды при этой температуре равно 942,6 гПа. Какое количество воды надо взять для перегонки 1 кг анилина при внешнем давлении 999,9 гПа?
5. Построить диаграмму состояния двух жидкостей А и Б с ограниченной взаимной растворимостью при постоянном давлении по приведенным в таблице данным.

T, К	312	320	330	340	360	370
$\varphi_A$ , % (мас.)	77	82	87	90	94	95
	77	54	45	39	31	29

Внешняя область однофазная.

Определить состав фаз при 357 К; чему равны весовые количества каждой фазы (если вес всей системы 1 кг) для фигуративной точки состава 45% вещества Б при 350 К? Определить число степеней свободы для этой точки. При какой температуре система становится однофазной?

### Вариант 19

1. Сформулировать явление осмоса и закон Вант-Гоффа. Привести примеры осмотических явлений.
2. Выразить концентрацию 1,444 моль/л водного раствора хлорида бария плотностью 1253 кг/м<sup>3</sup> через весовые проценты, нормальность, моляльность и мольные доли.

3. Определить коэффициент распределения янтарной кислоты между водой и эфиром по приведенным в таблице данным, моль/л.

В воде	0,685	2,167	8,805
В эфире	0,126	0,396	1,615

4. К разбавленным водным растворам для предотвращения замерзания в зимнее время обычно добавляют глицерин. Допустив, что закон Рауля применим к растворам такой концентрации, вычислить количество глицерина, которое должно быть добавлено, чтобы раствор, содержащий 100 г воды, не замерзал до  $-5^{\circ}\text{C}$ .

5. Построить диаграмму состояния двух жидкостей А и Б с ограниченной взаимной растворимостью при постоянном давлении по приведенным в таблице данным.

T, К	290	310	330	350	360	370
$\varphi_A$ , % (мас.)	96	95	92	85	79	55
	14	16	20	27	34	55

Внешняя область однофазная.

Определить состав фаз при 320 К; чему равны весовые количества каждой фазы (если вес всей системы 1 кг) для фигуративной точки состава 25% вещества А при 330 К? Определить число степеней свободы для этой точки и для точки этого же состава при 380 К. При какой температуре система становится однофазной?

## Вариант 20

1. Каков физический смысл химического потенциала компонента раствора. Сформулировать уравнения Гиббса–Дюгема.

2. Выразить концентрацию 1,37 моль/кг водного раствора сульфата меди плотностью 1,206 г/см<sup>3</sup> через весовые проценты, молярность, нормальность и мольные доли.

3. При 288 К водный раствор янтарной кислоты, содержащей 12,1 кг/м<sup>3</sup> кислоты, находится в равновесии с эфирным раствором, содержащим 2,2 кг/м<sup>3</sup> кислоты. Какова концентрация эфирного раствора янтарной кислоты, который находится в равновесии с водным раствором, содержащим 4,84 кг/м<sup>3</sup> кислоты. Янтарная кислота имеет нормальный молекулярный вес и в воде, и в эфире.

4. Давление пара тростникового сахара ( $M = 342$  г/моль) в 1 кг воды составляет 98,88% от давления пара чистой воды при той же температуре. Вычислить температуру кипения и осмотическое давление этого раствора при 373 К; плотность раствора 1 г/см<sup>3</sup>.

5. Построить диаграмму состояния двух жидкостей А и Б с ограниченной взаимной растворимостью при постоянном давлении по приведенным в таблице данным.

T, K	315	320	340	360	370	380
$\varphi_A$ , % (мас.)	40	51	72	83	87	89
	40	25	11	8	7	6

Внешняя область однофазная.

Определить состав фаз при 335 К; чему равны весовые количества каждой фазы (если вес всей системы 1 кг) для фигуративной точки состава 53% вещества Б при 350 К? Определить число степеней свободы для этой точки. При какой температуре система становится однофазной?

### Вариант 21

1. Каков физический смысл величины, определяемой выражением

$$\left(\frac{\partial G}{\partial n_i}\right)_{P,T,n_j}?$$

2. Выразить концентрацию 1,5 моль/л водного раствора хлорида меди плотностью 1,353 г/см<sup>3</sup> через моляльность, мольные доли, весовые доли и нормальность.

3. Определить коэффициенты уравнения, описывающего распределение лауриновой кислоты при 273 К в системе изооктан – ацетонитрил по приведенным в таблице данным, моль/л.

В ацетонитриле	0,0 093	0,0 126	0,0 166	0,0 193	0,0 228
В изооктане	0,0 154	0,0 263	0,0 455	0,0 589	0,0 864

4. Давление пара воды при 20<sup>0</sup>С равно 23,38 гПа, а давление пара раствора, содержащего нелетучее растворенное вещество, составляет 22,95 гПа. Определить осмотическое давление раствора при 40<sup>0</sup>С, если его плотность при этой температуре равна 1,01 г/см<sup>3</sup> и молекулярная масса растворенного вещества составляет 60 г/моль.

5. Построить диаграмму состояния жидкость – пар для бинарной системы А – Б при постоянном давлении по приведенным в таблице данным.

T, K	N <sub>A</sub> <sup>ж</sup>	N <sub>A</sub> <sup>п</sup>	T, K	N <sub>A</sub> <sup>ж</sup>	N <sub>A</sub> <sup>п</sup>
337,6	0,0	0,0	317,3	34,3	68,0
336,4	0,7	5,1	316,0	43,8	72,8
334,9	2,1	13,8	315,0	73,7	76,0
333,5	2,8	16,8	314,9	76,9	76,9
329,5	5,8	30,4	315,3	88,6	79,0
325,3	11,2	45,2	316,1	96,5	83,0
324,1	13,4	48,5	317,8	98,7	90,6
321,1	18,7	53,8	319,0	99,6	94,4
319,0	24,6	59,3	321,3	100,0	100,0
317,8	29,4	65,3	—	—	—

Определить температуру кипения системы, содержащей 25 моль.% компонента А, каков состав первого пузырька пара? При какой температуре исчезнет последняя капля жидкости и каков ее состав? Определить сколько будет жидкости и пара, если 2 моль смеси состава 30 моль.% компонента А нагреть до температуры 322,5 К.

### Вариант 22

1. Как можно экспериментально определить и теоретически рассчитать эбуллиоскопическую и криоскопическую постоянные?
2. Выразить концентрацию водного раствора через массовые проценты, молярность, мольные доли и нормальность. Растворенное вещество  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ , концентрация равна 1,33 моль/кг, плотность раствора составляет 1,189 г/мл.
3. Удельная теплота испарения воды при температуре кипения равна  $2,464 \cdot 10^6$  Дж/кг. Определить температуру кипения водного раствора, содержащего 0,05 кмоль нелетучего растворенного вещества в 200 кг воды.
4. Температура замерзания чистого бензола выше температуры замерзания раствора, содержащего  $0,2242 \cdot 10^{-3}$  кг камфоры и  $30,55 \cdot 10^{-3}$  кг бензола, на  $0,246^\circ$ . Теплота плавления бензола при температуре замерзания равна 9,8 кДж/моль. Определите молекулярную массу камфоры.
5. Построить диаграмму состояния жидкость – пар для бинарной системы А – Б при постоянном давлении по приведенным в таблице данным.

$t, ^\circ\text{C}$	77	75	70	67	65	63
$N_A^{\text{ж}}, \text{мол. \%}$	0	2	17	22	35	62
		100	92	85	75	62
$N_A^{\text{п}}, \text{мол. \%}$	0	15	35	45	55	62
		100	85	80	70	62

Определить температуру кипения системы, содержащей 40% (мол.) компонента А, каков состав первого пузырька пара? При какой температуре исчезнет последняя капля жидкости и каков ее состав? Сколько жидкости и пара будет в системе, если 1 кг смеси, содержащей 40% (мол.) компонента А нагреть до температуры  $62^\circ\text{C}$ ?

### Вариант 23

1. Что представляет собой химический потенциал? Напишите все способы его выражения через термодинамические потенциалы.
2. Выразить концентрацию водного раствора через массовые проценты, молярность, моляльность и мольные доли. Растворенное вещество  $\text{AlCl}_3$ , концентрация равна 1,98 г-экв/л, плотность раствора составляет 1,971 г/см<sup>3</sup>.
3. Вычислите криоскопические постоянные для растворителей воды и бензола. Температура плавления соответственно равна 0 и  $5,5^\circ\text{C}$ , а удельная теплота плавления составляет 332 и 125 кДж/кг.

4. Рассчитайте давление водяного пара над 25%-м (по массе) раствором глюкозы  $C_6H_{12}O_6$  при 298 К, учитывая, что давление насыщенного пара над чистой водой равно  $3,721 \cdot 10^3$  Па.

5. Построить диаграмму состояния жидкость – пар для бинарной системы А – Б при постоянном давлении по приведенным в таблице данным.

t, °C	85	90	95	100	105	110	115	120	123
$N_A^{\Pi}$ , мол. %	—	—	—	0	1	2	5	20	35
	100	100	99	90	97	95	90	65	35
$N_A^{\text{ж}}$ , мол. %	—	—	—	0	7	12	18	27	35
	100	90	82	75	67	60	52	43	35

Определить температуру кипения системы, содержащей 15% (мол.) вещества А, каков состав первого пузырька пара? При какой температуре исчезнет последняя капля жидкости и каков ее состав? Сколько будет жидкости и пара, если 1 кг смеси, содержащей 70% (мол.) вещества А нагреть до температуры 110°C?

## Вариант 24

1. В чем заключаются графические методы определения парциальных молярных величин?

2. Выразить концентрацию водного раствора через массовые проценты, молярность, моляльность и нормальность. Растворенное вещество  $CaCl_2$ , концентрация 0,1 мольной доли, плотность раствора 1396 кг/м<sup>3</sup>.

3. Рассчитайте температуру начала кристаллизации 8%-го раствора глюкозы  $C_6H_{12}O_6$  в воде, если при нормальной температуре плавления (0°C) удельная теплота плавления льда равна 332 кДж/кг.

4. Давление насыщенного пара тетрахлорметана при 316,5 К равно  $0,348 \cdot 10^5$  Па. При растворении в 89 г  $CCl_4$  1,5 г стеариновой кислоты давление пара уменьшается на  $3,3 \cdot 10^2$  Па. Пользуясь этими данными, определите молекулярную массу стеариновой кислоты.

5. Построить диаграмму состояния жидкость – пар для бинарной системы А – Б при постоянном давлении по приведенным в таблице данным.

t, °C	100	102	104	108	112	116	118
$N_A^{\text{ж}}$ , мол. %	0	19	32	55	75	92	100
$N_A^{\Pi}$ , мол. %	0	30	50	70	85	96	100

Определить температуру кипения системы, содержащей 45% (мол.) вещества А, каков состав первого пузырька пара? При какой температуре выкипит жидкость состава 20% (мол.) вещества В, каков состав последней капельки жидкости? Сколько будет жидкости и пара, если 2 кг смеси, содержащей 60% (мол.) вещества А нагреть до температуры 107°C?



## Вариант 25

1. Покажите, как с помощью эбуллиоскопии и криоскопии определить молекулярную массу неизвестного нелетучего вещества.
2. Выразить концентрацию водного раствора через массовые проценты, молярность, моляльность и мольные доли. Растворенное вещество  $\text{CdSO}_4$ , концентрация равна 2,068 г-экв/л, плотность раствора составляет 1,198 г/мл.
3. Для определения энтальпии плавления тимола был проведен следующий эксперимент: к 20 г тимола  $\text{HOC}_6\text{H}_3(\text{CH}_3)\text{C}_3\text{H}_7$  добавили 0,5 г янтарного ангидрида  $(\text{CH}_2\text{CO})_2\text{O}$ , в результате чего температура плавления тимола понизилась от 321,2 до 319,2 К. Рассчитайте температуру плавления тимола.
4. Давление насыщенного водяного пара при нормальной температуре кипения воды (373 К) равно  $1,013 \cdot 10^5$  Па. Рассчитайте, насколько ниже давление пара над 1%-м раствором хлорида натрия при 373 К, предполагая, что этот раствор является идеальным.
5. Построить диаграмму состояния жидкость – пар для бинарной системы А – Б при постоянном давлении по приведенным в таблице данным.

$t, ^\circ\text{C}$	35	40	45	50	55	60	65	70	73	77
$N_A^{\text{ж}}, (\text{мол. \%})$	0	1	2	5	10	15	25	40	50	100
$N_A^{\text{п}}, (\text{мол. \%})$	0	5	12	20	29	40	50	63	75	100

Определить температуру кипения системы, содержащей 65% (мол.) вещества В, каков состав первого пузырька пара? При какой температуре выкипит жидкость состава 45% (мол.) вещества А, каков состав последней капельки жидкости? Сколько будет жидкости и пара, если 1 кг смеси, состава 40% (мол.) вещества А нагреть до температуры  $65^\circ\text{C}$ ?

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

### Константы двухатомных молекул

$\omega_e$  – волновое число собственных колебаний;

$x_e$  – коэффициент ангармоничности;

$I$  – момент инерции;

$r_e$  – равновесное межъядерное расстояние.

Молекула	$\omega_e \cdot 10^{-2}, \text{м}^{-1}$	$\omega_e x_e \cdot 10^{-2}, \text{м}^{-1}$	$r_e \cdot 10^{10}, \text{м}$	$I \cdot 10^{47}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$
BN	—	—	1,281	16,63
Br <sub>2</sub>	325,321	1,077	2,281	346,1
CO	2169,812	13,289	1,128	14,5
Cl <sub>2</sub>	559,7	2,67	1,988	116,3
D <sub>2</sub>	3118,46	64,10	0,7416	0,92
F <sub>2</sub>	919	13,6	1,416	31,63
H <sub>2</sub>	4396,554	117,973	0,741	0,46
H <sup>79</sup> Br	2649,683	45,52	1,414	3,30
H <sup>35</sup> Cl	2990,95	52,819	1,275	2,64
HF	4141,03	90,439	0,917	1,34
HI	2309,03	39,65	1,609	4,30
HS	2711,6	59,9	1,34	2,91
I <sub>2</sub>	214,543	0,607	2,666	749,0
K <sub>2</sub>	92,64	0,354	3,923	499,6
Na <sub>2</sub>	159,13	0,726	3,077	180,7
O <sub>2</sub>	1579,78	11,699	1,207	19,35

Таблица 2

## Атомные рефракции

Атом, группа	$R_D \cdot 10^6$ , м <sup>3</sup> /моль	Атом, группа	$R_D \cdot 10^6$ , м <sup>3</sup> /моль
Азот		Бром	8,865
в алифатических аминах		Водород	1,100
первичных	2,322	Кислород	
вторичных	2,502	в гидроксиде	1,525
третичных	2,840	в карбониле	2,211
в ароматических аминах		в эфире	1,643
первичных	3,213	в перекисях **	2,19
в аммиаке	2,48	Сера	
в имидах третичных и	3,776 *	в тиоспиртах	7,81
$\begin{array}{c} \text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{N} \quad \text{C} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C} \end{array}$		в группе SO <sub>3</sub> сульфитов	11,13
в нитрилах (N≡C)	3,118 *	в группе SO <sub>4</sub> сульфатов	11,18
в уретанах (NCOOR)	2,32	в группе SO <sub>3</sub> Cl хлор-	
в нитрогруппах алифатиче-		сульфонатов	16,37
ских соединений		Углерод	2,418
первичных нитроалканах	6,718	Хлор	5,967
вторичных нитроалканах	6,618		
в нитрогруппах ароматиче-			
ских соединений	7,30		

\* С включением инкрементов двойной или тройной связи.

\*\* Только для одного атома кислорода пероксида; второму приписывают значение  $R_D$  гидроксильного кислорода в гидропероксидах или эфирного в диалкилпероксидах.

Таблица 3

## Инкременты связей и циклов

Связь	$R_D \cdot 10^6$ , м <sup>3</sup> /моль	Циклы	$R_D \cdot 10^6$ , м <sup>3</sup> /моль	Циклы	$R_D \cdot 10^6$ , м <sup>3</sup> /моль
Двойная	1,733	Трехчленный	0,71	C <sub>8</sub> – C <sub>15</sub>	-0,55
Тройная	2,398	Четырехчленный	0,48		

Таблица 4

## Термохимические радиусы ионов

Ион	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	OH <sup>-</sup>	CN <sup>-</sup>	ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCOO <sup>-</sup>	MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NCS <sup>-</sup>	SH <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Радиус, Å	1,35	1,43	1,53	1,92	2,36	1,58	2,40	1,95	2,00	2,30

Таблица 5

## Дипольный момент молекул и диэлектрическая проницаемость

Вещество	Вода		Трихлорметан (хлороформ)		Этанол		Ацетон		Диэтиловый эфир	
$\mu \cdot 10^{30}$ , Кл·м	6,138 (1,84 Д)		3,936 (1,18 Д)		5,571 (167 Д)		9,040 (2,71 Д)		4,070 (1,22 Д)	
$t$ , °С	$\varepsilon\varepsilon_0 \cdot 10^{12}$ , Ф/м	$\varepsilon$	$\varepsilon\varepsilon_0 \cdot 10^{12}$ , Ф/м	$\varepsilon$	$\varepsilon\varepsilon_0 \cdot 10^{12}$ , Ф/м	$\varepsilon$	$\varepsilon\varepsilon_0 \cdot 10^{12}$ , Ф/м	$\varepsilon$	$\varepsilon\varepsilon_0 \cdot 10^{12}$ , Ф/м	$\varepsilon$
0	777,5	87,83	45,95	5,19	246,8	27,88	206,3	23,3	42,49	4,80
10	742,3	83,86	44,27	5,00	233,7	26,41	199,2	22,5	40,55	4,58
20	708,9	80,08	42,58	4,81	221,3	25,00	189,5	21,4	38,78	4,38
25	692,8	78,53	41,78	4,64	214,7	24,25	185,0	20,9	37,80	4,27
30	677,0	76,47	41,08	4,64	208,3	23,52	181,5	20,5	36,74	4,15
40	646,5	73,02	39,58	4,47	196,2	22,16	172,6	19,5	—	—
50	617,3	69,73	38,16	4,31	184,8	20,87	165,5	18,7	—	—
Вещество	Бензол		Бромбензол		Хлорбензол		Нитробензол		Тетрахлорметан	
$\mu \cdot 10^{30}$ , Кл·м	0		5,104 (1,53 Д)		5,238 (1,57 Д)		13,110 (3,93 Д)		0	
$t$ , °С	$\varepsilon\varepsilon_0 \cdot 10^{12}$ , Ф/м	$\varepsilon$	$\varepsilon\varepsilon_0 \cdot 10^{12}$ , Ф/м	$\varepsilon$	$\varepsilon\varepsilon_0 \cdot 10^{12}$ , Ф/м	$\varepsilon$	$\varepsilon\varepsilon_0 \cdot 10^{12}$ , Ф/м	$\varepsilon$	$\varepsilon\varepsilon_0 \cdot 10^{12}$ , Ф/м	$\varepsilon$
0	—	—	50,47	5,7	53,90	6,09	—	—	—	—
10	20,36	2,30	48,70	5,5	—	—	335,2	37,85	—	—
20	20,27	2,29	47,80	5,4	50,01	5,65	318,5	35,97	19,83	2,24
25	20,09	2,27	—	—	49,84	5,63	—	—	19,74	2,23
30	20,01	2,26	46,92	5,3	—	—	293,9	33,97	—	—
40	19,92	2,25	45,15	5,1	47,54	5,37	285,6	32,26	—	—
50	19,65	2,22	44,27	5,0	46,30	5,23	270,1	30,5	19,31	2,18

Таблица 6

## Парахоры атомов и связей

Атом, группа	$P \cdot 10^7$ , $\text{Дж}^{1/4} \cdot \text{м}^{5/2} \cdot \text{моль}^{-1}$	Атом, группа	$P \cdot 10^7$ , $\text{Дж}^{1/4} \cdot \text{м}^{5/2} \cdot \text{моль}^{-1}$
Азот	31,11	Кислород	35,20
Водород		в перекисях	37,87
при атоме N	22,22	Углерод	16,00
при атоме O	17,78	группа $\text{CH}_2$	71,12
при атоме C	27,56	Фтор	46,40
Йод	160,55	Хлор	98,15

Таблица 7

## Показатели преломления жидкостей при 20°C

Вещество	$n_D^{20}$	Вещество	$n_D^{20}$
Аллиловый спирт $\text{C}_3\text{H}_7\text{O}$	1,4 125	Нитрометан $\text{CH}_3\text{O}_2\text{N}$	1,3 819
Анилин $\text{C}_6\text{H}_7\text{N}$	1,5 861	Октан $\text{C}_8\text{H}_{18}$	1,3 977
Ацетон $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$	1,3 591	Пентан $\text{C}_5\text{H}_{12}$	1,3 577
Ацетонитрил $\text{C}_2\text{H}_3\text{N}$	1,3 442	Пиридин $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$	1,5 095
Ацетофенон $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}$	1,5 340	1-Пропанол $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$	1,3 854
Бензиловый спирт $\text{C}_7\text{H}_8\text{O}$	1,5 405	2-Пропанол $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$	1,3 776
Бензол $\text{C}_6\text{H}_6$	1,5 011	Пропионовая кислота $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$	1,3 869
Бромбензол $\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}$	1,5 601	Сероуглерод $\text{CS}_2$	1,6 277
1-Бутанол $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	1,3 993	Тетрахлорметан $\text{CCl}_4$	1,4 603
2-Бутанол $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	1,3 958	Тиофен $\text{C}_4\text{H}_4\text{S}$	1,5 289
Вода $\text{H}_2\text{O}$	1,3 330	Толуол $\text{C}_7\text{H}_8$	1,4 969
Гексан $\text{C}_6\text{H}_{14}$	1,3 751	Трихлорметан (хлороформ)	1,4 456
Гептан $\text{C}_7\text{H}_{16}$	1,3 876	$\text{CHCl}_3$	1,3 718
Глицерин $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$	1,4 744	Уксусная кислота $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	1,3 311
1,4-Диоксан	1,4 224	Уксусный альдегид $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$	1,3 902
Диэтиловый эфир $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	1,3 526	Уксусный ангидрид $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$	1,6 105
<i>m</i> -Ксилол $\text{C}_8\text{H}_{10}$	1,4 972	Фенилгидразин $\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2$	1,5 468
<i>o</i> -Ксилол $\text{C}_8\text{H}_{10}$	1,5 054	Фенилэтилен (стирол) $\text{C}_8\text{H}_8$	1,54
<i>n</i> -Ксилол $\text{C}_8\text{H}_{10}$	1,4 958	Фенол $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$	1,4 472
Метанол $\text{CH}_4\text{O}$	1,3 288	Формамид $\text{CH}_3\text{ON}$	1,5 248
Метилацетат $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$	1,3 593	Хлорбензол $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$	1,4 263
Метилформиат $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	1,3 420	Циклогексан $\text{C}_6\text{H}_{12}$	1,4 318
Муравьиная кислота $\text{CH}_2\text{O}_2$	1,3 714	Этиленгликоль $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$	1,3 611
Нитробензол $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_2\text{N}$	1,5 524	Этанол $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	1,3 726
		Этилацетат $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	1,3 603
		Этилформиат $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$	

Таблица 8

**Поверхностное натяжение жидкостей в интервале 0–60 °С**

Вещество	$\sigma \cdot 10^3$ , Н/м, при температуре, °С							
	0	10	20	25	30	40	50	60
Анилин $C_6H_7N$	45,42	44,38	43,30	—	42,24	41,2	40,10	39,40
Ацетон $C_3H_6O$	26,21	25,00	23,70	—	22,01	21,16	19,90	18,61
Ацетонитрил $C_2H_3N$	—	—	29,10	—	27,80	—	—	—
Ацетофенон $C_8H_8O$	—	39,50	38,21	—	—	—	—	—
Бензиловый спирт	—	—	42,76	—	38,94	—	—	—
$C_7H_8O$	—	30,24	28,88	28,18	27,49	26,14	24,88	23,66
Бензол $C_6H_6$	26,2	25,4	24,60	—	23,80	23,00	22,10	21,40
1-Бутанол $C_4H_{10}O$	75,62	74,22	72,75	71,96	71,15	69,55	67,91	66,17
Вода $H_2O$	20,56	19,51	18,42	—	17,40	16,31	15,26	14,23
Гексан $C_6H_{14}$	—	—	20,86	—	19,54	18,47	17,42	16,39
Гептан $C_7H_{16}$	—	—	59,40	—	59,00	58,50	58,00	57,40
Глицерин $C_3H_8O_3$	19,40	18,20	17,00	—	15,80	14,60	13,50	12,40
Диэтиловый эфир	32,28	31,16	30,03	29,48	28,93	27,84	26,76	25,70
$C_4H_{10}O$	30,92	29,78	28,63	28,08	27,54	26,44	25,36	24,26
<i>o</i> -Ксилол $C_8H_{10}$	—	—	28,31	27,76	27,22	26,13	25,06	24,02
<i>m</i> -Ксилол $C_8H_{10}$	24,50	23,50	22,61	—	21,80	20,90	20,10	19,30
<i>n</i> -Ксилол $C_8H_{10}$	—	—	23,84	—	22,38	—	—	—
Метанол $CH_4O$	—	—	24,64	—	23,09	—	20,05	—
Метилацетат $C_3H_6O_2$								
Метилформиат $C_2H_4O_2$				—		—	—	—
Муравьиная кислота								
$CH_2O_2$	—	38,15 (15°С)	37,58	—	36,48	—	—	—

Окончание таблицы 8

Вещество	$\sigma \cdot 10^3$ , Н/м, при температуре, °С							
	0	10	20	25	30	40	50	60
Нитробензол $C_6H_5O_2N$	46,40	45,20	43,90	—	42,70	41,50	40,20	39,00
Нитрометан $CH_3O_2N$	38,10	37,74 (15°C)	36,98	—	35,51	—	—	—
Октан $C_8H_{18}$	23,70	22,73	21,76	-	20,79	19,78	18,79	17,82
Пентан $C_5H_{12}$	18,20	17,10	16,00	15,48	14,95	13,80	-	—
Пиридин $C_5H_5N$	—	—	38,00	—	-	35,00	-	—
Пропионовая кислота $C_3H_6O_2$	—	27,21 (15°C)	26,70	—	25,71	-	-	—
Сероуглерод $CS_2$	35,45	33,90	32,25	—	30,85	-	27,80	—
Тетрахлорметан $CCl_4$	29,38	28,05	25,68	—	25,54	24,41	23,22	22,38
Толуол $C_7H_8$	30,92	29,70	28,53	27,92	27,32	26,15	25,04	23,94
Трихлорметан (хлоро- форм) $CHCl_3$	-	28,50	27,14	—	25,89	-	-	21,73
Уксусная кислота $C_2H_4O_2$	-	28,80	27,70	—	26,80	25,80	24,80	23,80
Уксусный ангидрид $C_4H_6O_3$	-	33,37 (15°C)	32,65	— —	31,22	30,05	29,00	—
Хлорбензол $C_6H_5Cl$	36,00	34,80	33,50	24,35	32,30	31,10	29,90	28,70
Циклогексан $C_6H_{12}$	-	26,15	24,95	—	23,75	22,45	21,35	—
Этанол $C_2H_6O$	24,05	23,14	22,03	—	21,48	20,20	19,80	18,43
Этилацетат $C_4H_8O_2$	26,50	24,36 (15°C)	23,75	—	22,25	—	20,20	—
Этилформиат $C_3H_6O_2$	—	—	23,84	—	22,38	—	—	—

Таблица 9

Плотность жидкостей в интервале 0–60°C

Вещество	$\rho \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup> , при температуре, °C						
	0	10	20	30	40	50	60
Аллиловый спирт C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> O	0,8681	—	0,8508	0,8421	—	—	—
Анилин C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N	1,0390	1,0303	1,0218	1,0131	1,0045	0,9958	0,9872
Ацетон C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	0,8125	0,8014	0,7905	0,7793	0,7682	0,7560	0,7496
Ацетонитрил C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> N	0,8035	0,7926	0,7822	0,7713	—	—	—
Ацетофенон C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	—	1,0364	1,0278	1,0194	1,0106	1,0021	0,9757
Бензиловый спирт C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	1,0608	1,0532	1,0454	1,0376	1,0297	1,0219	—
Бензол C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0,9001	0,8895	0,8790	0,8685	0,8576	0,8466	0,8357
Бромбензол C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Br	1,5218	1,5083	1,4948	1,4815	1,4682	1,4546	1,4411
1-Бутанол C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	0,8246	0,8171	0,8086	0,8020	—	—	—
Вода H <sub>2</sub> O	0,9999	0,9997	0,9982	0,9956	0,9922	0,9880	0,9832
Гексан C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,6769	0,6684	0,6595	0,6505	0,6412	0,6318	0,6221
Гептан C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	0,7005	0,6920	0,6836	0,6751	0,6665	0,6579	0,6491
Глицерин C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	1,2674	1,2642	1,2594	1,2547	1,2500	1,2438	1,2376
1,4-Диоксан C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	—	—	1,0338	—	—	—	—
Диэтиловый эфир C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	0,7362	0,7248	0,7135	0,7019	0,6894	0,6764	0,6658
<i>o</i> -Ксилол C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	0,8969	0,8886	0,8802	0,8719	0,8634	0,8549	0,8464
<i>m</i> -Ксилол C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	0,8811	0,8726	0,8642	0,8556	0,8470	0,8384	0,8297
<i>n</i> -Ксилол C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	—	—	0,8610	0,8525	0,8437	0,8350	0,8262
Метанол CH <sub>4</sub> O	0,8100	0,8008	0,7915	0,7825	0,7740	0,7650	0,7555
Метилацетат C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	0,9593	(0,946)	0,9338	(0,920)	0,9075	0,8939	0,8800
Метилформиат C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	1,0032	0,9886	0,9742	0,9598	(0,945)	0,9294	(0,913)
Муравьиная кислота CH <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	—	—	1,2196	—	—	—	—
Нитробензол C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub> N	1,2231	1,2131	1,2033	1,1936	1,1837	1,1740	1,1638
Нитрометан CH <sub>3</sub> O <sub>2</sub> N	—	—	1,1382	—	—	—	—
Октан C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0,7185	0,7102	0,7022	0,6942	0,6860	0,6778	0,6694
Пентан C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,6455	0,6360	0,6262	0,6163	0,6062	0,5957	0,5850
Пиридин C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> N	1,0030	0,9935	0,9820	0,9729	0,9629	0,9526	0,9424
1-Пропанол C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O	0,8193	(0,811)	0,8040	(0,797)	0,7875	(0,780)	0,7700
2-Пропанол C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O	—	—	0,7851	—	—	—	—
Пропионовая кислота C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	—	—	0,992	—	—	—	—
Сероуглерод CS <sub>2</sub>	1,2927	1,2778	1,2632	1,2482	—	—	—
Тетрахлорметан CCl <sub>4</sub>	1,6326	1,6135	1,5940	1,5748	1,5557	1,5361	1,5165
Тиофен C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> S	—	—	1,0647	1,0524	—	—	—
Толуол C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	0,8855	0,8782	0,8670	0,8580	0,8483	0,8388	0,8293
Трихлорметан (хло- роформ) CHCl <sub>3</sub>	1,5264	1,5077	1,4890	1,4706	1,4509	1,4334	1,4114
	1,0697	1,0593	1,0491	1,0392	1,282	1,0175	1,0060



Окончание таблицы 9

Вещество	$\rho \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup> , при температуре, °C						
	0	10	20	30	40	50	60
Уксусная кислота C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	—	—	0,783	—	—	—	—
Уксусный альдегид C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	1,1053	1,0930	1,0810	1,0690	1,0567	1,0443	—
Уксусный ангидрид C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	—	—	1,0981	1,0899	1,0817	1,0737	1,0653
Фенилгидразин C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub>	—	—	0,9060	—	—	—	—
Фенилэтилен (стирол) C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	—	—	—	—	1,0570	—	—
Фенол C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	—	—	1,1334	—	—	—	—
Формамид CH <sub>3</sub> ON	1,1279	1,1171	1,1062	1,0954	1,0840	1,0742	1,0636
Хлорбензол C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl	—	0,7879	0,7786	0,7691	0,7596	0,7499	0,7401
Циклогексан C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	—	—	1,1130	—	—	—	—
Этиленгликоль C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	0,8062	0,7979	0,7893	0,7810	0,7722	0,7632	0,7541
Этанол C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	0,9244	(0,912)	0,9005	(0,891)	0,8762	(0,867)	0,8508
Этилацетат C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	—	—	0,9168	—	—	—	—
Этилформиат C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>							

Таблица 10

Интегральная теплота растворения солей в воде при 25 °C

Моль соли на 1 кг H <sub>2</sub> O	$\Delta H_m$ , кДж/моль							
	LiCl	LiBr	NaCl	NaBr	NaI	KCl	KBr	KI
0,00	-37,13	-49,02	3,89	-0,63	-7,57	17,23	20,04	20,50
0,01	-36,97	-48,91	4,06	-0,50	-7,41	17,39	20,17	20,67
0,02	-36,86	-48,87	4,10	-0,42	-7,36	17,44	20,25	20,71
0,05	-36,71	-48,74	4,18	-0,31	-7,24	17,51	20,29	20,73
0,1	-36,48	-48,62	4,25	-0,29	-7,20	17,55	20,33	20,71
0,2	-36,34	-48,39	4,27	-0,27	-7,15	17,57	20,29	20,67
0,3	-36,19	-48,28	4,25	-0,29	-7,24	17,55	20,25	20,59
0,4	-36,07	-48,20	4,16	-0,40	-7,32	17,50	20,15	20,42
0,5	-35,98	-48,12	4,10	-0,44	-7,41	17,43	20,04	20,29
1,0	-35,65	-47,74	3,79	-0,86	-7,82	17,28	19,54	19,73
2,0	-35,15	-47,11	3,18	-1,65	-8,62	16,72	18,68	18,62
3,0	-34,52	-46,53	2,66	-2,28	-9,37	16,17	17,99	17,66
4,0	-33,89	-46,02	2,26	-2,78	-10,04	15,75	17,36	16,82
5,0	-33,18	-45,50	1,99	-3,20	-10,54	-	16,82	16,09
6,0	-32,43	-44,85	1,88	-3,47	-10,92	-	-	15,47
7,0	-31,63	-44,22	-	-3,66	-11,13	-	-	14,92
8,0	-30,79	-43,51	-	-3,70	-11,25	-	-	14,46
9,0	-29,92	-42,80	-	-3,62	-11,25	-	-	-
10,0	-29,00	-41,97	-	-	-11,17	-	-	-

Таблица 11

## Инкременты связей и циклов

Связь	$P \cdot 10^7$ , $\text{Дж}^{1/4} \cdot \text{м}^{5/2} \cdot \text{моль}^{-1}$	Цикл	$P \cdot 10^7$ , $\text{Дж}^{1/4} \cdot \text{м}^{5/2} \cdot \text{моль}^{-1}$
Двойная	33,78	Трехчленный	22,22
Тройная	67,56	Четырехчленный	10,67
Ионная	-2,84	Пятичленный	5,33
		Шестичленный	1,42
		Семичленный	-7,11

Таблица 12

## Интегральная теплота растворения кислот и оснований в воде при 25°C

Число молей H <sub>2</sub> O на 1 моль кислоты или щелочи	Моли кислоты или щелочи на 1 кг H <sub>2</sub> O	-ΔH <sub>м</sub> , кДж/моль							
		HCOOH	HCl	HNO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	NaOH	KOH
1	55,51	0,83	26,23	13,11	28,07	-4,52	29,54	—	—
2	27,75	0,87	48,82	20,08	41,92	-0,50	32,05	—	—
3	18,50	0,79	56,85	24,30	48,99	1,88	32,76	28,89	41,80
4	13,88	0,71	61,20	26,98	54,06	3,47	33,26	34,43	45,77
5	11,10	0,67	64,05	28,73	58,03	4,52	33,60	37,76	48,24
6	9,25	0,62	65,89	29,84	60,75	5,36	—	39,87	49,87
8	6,94	0,58	68,23	31,12	64,60	6,40	—	41,92	51,76
10	5,55	0,56	69,49	31,84	67,03	7,11	34,27	42,51	52,66
15	3,70	0,55	70,99	32,46	70,17	8,08	—	42,84	53,62
20	2,78	0,55	71,78	32,67	71,50	8,58	34,43	42,87	53,95
30	1,85	0,56	72,59	32,76	72,68	9,12	34,48	—	—
40	1,39	0,57	73,02	32,75	73,09	—	34,48	—	—
50	1,11	0,60	73,28	32,74	73,35	9,58	34,52	42,53	54,33
75	0,74	0,65	73,65	32,74	73,68	9,87	—	—	—
100	0,555	0,66	73,85	32,75	73,97	10,04	34,56	42,34	54,45
200	0,278	—	74,20	32,80	74,94	10,42	34,64	42,30	54,56
500	0,111	—	74,52	32,90	76,73	10,71	—	42,36	54,75
700	0,0793	—	74,61	32,94	77,57	10,79	—	—	—
1000	0,0555	—	74,68	32,98	78,58	10,84	—	42,47	54,87
2000	0,0278	—	74,82	33,05	80,88	10,96	—	42,55	55,00
5000	0,0111	—	74,93	33,13	84,43	11,05	—	42,66	55,10
10000	0,0056	—	74,99	33,19	87,07	11,09	—	42,72	55,17
20000	0,0028	—	75,04	—	89,62	11,13	—	—	—

Таблица 13

## Радиусы ионов в кристаллах\*

Эле- мент	Заряд иона	Радиус иона, Å					Эле- мент	Заряд иона	Радиус иона, Å				
		МХ	Г	П	Ин	Б			МХ	Г	П	Ин	Б
Ag	+1	1,011	1,13	1,26	1,26	1,13	Hg	+2	0,66	1,01	—	1,25	1,12
Al	+3	0,55	0,57	0,50	0,72	0,57	I	+7	—	0,50	—	0,77	(0,50)
Au	+1	—	1,37	—	1,37	(1,37)		-1	2,228	2,20	2,16	2,16	2,20
Ba	+2	1,395	1,34	1,35	1,53	1,38	K	+1	1,341	1,33	1,33	1,33	1,33
Be	+2	0,314	0,35	0,31	0,44	0,34	Li	+1	0,758	0,68	0,60	0,60	0,68
Bi	+5	—	0,74	—	0,98	(0,74)	Mg	+2	0,780	0,66	0,65	0,82	0,74
	+3	1,20	0,96	—	—	1,20	Mn	+7	—	0,46	—	0,75	(0,46)
Br	+7	—	—	—	0,62	(0,39)		+4	0,52	0,60	—	—	0,52
	-1	1,973	1,96	1,95	1,95	1,96		+2	0,83	0,80	—	—	0,91
Ca	+2	1,051	0,99	0,99	1,18	1,04	Mo	+6	—	0,62	—	0,93	0,65
Cd	+2	0,99	0,97	—	1,14	0,99		+4	0,68	0,70	—	—	0,68
Cl	+7	—	—	—	0,49	(0,26)	Na	+1	1,012	0,97	0,97	0,95	—
	-1	1,811	1,81	—	1,81	1,81	NH <sub>4</sub>	+1	—	—	—	1,42	—
Co	+3	0,65	0,63	—	—	0,64	Ni	+2	0,74	0,69	—	—	0,74
	+2	0,78	0,72	—	—	0,78	O	+6	—	0,1	—	0,22	—
Cr	+6	—	0,52	—	0,81	0,35		-2	—	1,40	—	1,76	1,36
	+3	0,65	0,63	—	—	0,64	Pb	+4	0,70	0,84	—	0,84	0,86
	+2	—	—	—	—	0,83		+2	1,28	1,20	—	—	1,25
Cs	+1	1,678	1,67	1,69	1,69	1,65	Rb	+1	1,488	1,47	1,48	1,48	1,49
Cu	+2	0,47	0,72	—	0,96	0,80	S	-2	1,786	1,81	1,84	2,19	1,82
	+1	—	0,96	—	—	0,98	Si	+4	(0,40)	0,42	—	0,65	0,39
F	+7	—	—	—	0,19	—	Sn	+4	0,65	0,71	0,71	0,96	0,67
	-1	1,294	1,36	1,36	1,36	1,33	Sr	+2	1,175	1,12	1,13	1,32	1,20
Fe	+3	0,670	0,64	—	—	0,67	Ti	+4	0,60	0,68	—	0,96	0,64
	+2	0,80	0,71	—	—	0,80	Zn	+2	0,566	0,74	—	0,88	0,83
H	-1	—	1,53	—	2,08	1,36							

\*Значения радиусов вычислены по Мелвин–Хьюзу (МХ), Гольдшмидту (Г), Полингу–Хатгинсу (П), Ингольду (Ин) и Бокию (Б).